

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-160976

(43)Date of publication of application : 19.06.1998

(51)Int.Cl.

G02B 6/42

(21)Application number : 08-319314

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 29.11.1996

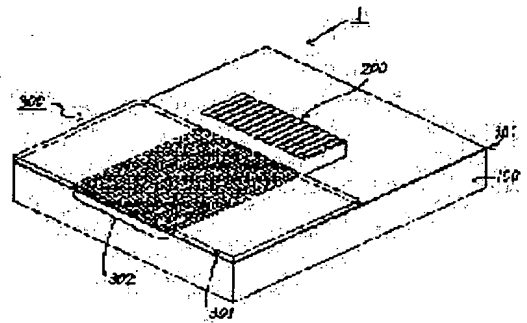
(72)Inventor : TABUCHI HARUHIKO

## (54) OPTICAL COUPLER

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To dispense with optical adjustment for positional adjustment in the horizontal direction parallel to a substrate by respectively arranging two kinds of optical parts of a semiconductor laser and an optical waveguide to be optically coupled, confronting them with each other and arranging these optical parts within the range of a prescribed error.

SOLUTION: An optical coupler 1 is constituted so that the array like semiconductor laser 200 having a light emission part arranged at a prescribed pitch is confronted with the array like optical waveguide 300 having a core 302 arranged at the prescribed pitch. The optical waveguide 300 and a bonding pad are formed on the surface of the substrate 100. The semiconductor laser 200 is positioned so as to make the position that the light emission part of a central part among the array like light emission parts coincides with a central core among the array like cores of the optical waveguide 300 a target to be bonded to the bonding pad. In such a case, the deviation from the target position of the semiconductor laser 200 is suppressed to 15, $\mu$ m or below.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

04.11.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-160976

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月19日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>  
G 0 2 B 6/42

識別記号

F I  
G 0 2 B 6/42

審査請求 未請求 請求項の数33 O L (全 78 頁)

(21) 出願番号 特願平8-319314

(22) 出願日 平成8年(1996)11月29日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 田淵 晴彦

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 井桁 貞一

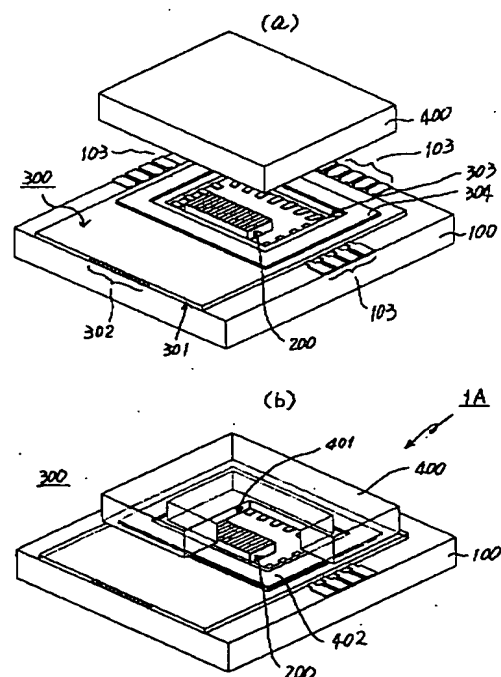
(54) 【発明の名称】 光結合装置

(57) 【要約】

【目的】 光半導体素子を能動状態にせず、且つ位置合わせの光学調整をしないで、基板上に形成された光半導体素子と光導波路とを、要求される誤差範囲内で基板面に平行及び垂直な方向で光結合させることが可能な光結合装置を提供することを目的とする。

【構成】 基板面に平行な方向の位置合わせを容易にするため、許容される結合トレランスの±2倍のピッチでそれぞれ相対向するようアレイ状に形成された複数の光半導体素子及び光導波路と、基板面に垂直な方向の位置合わせを容易にさせるため、同形成プロセスに使用される有機材料、無機材料及びそれらを組合せた積層部材と、当光半導体素子から光ファイバへ伝播する光を閉じ込めて両者の光スポットを整合させたり曲がり部分からの光の漏洩を防いで光結合装置を小型化するため、コアを部分的に高屈折率の主コアと低屈折率の副コアで構成したりコアの外径寸法を部分的に変えた光導波路より構成された光結合装置。

図8の第1の実施例の第1の変形実施例による光結合装置



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の要素部品が第1の間隔で複数個配列された第1の光部品と、第2の要素部品が第2の間隔で複数個配列された第2の光部品とを、第1の要素部品の各々と第2の要素部品の各々が対向するよう基板上に配置し、該第1の間隔と該第2の間隔に差があることを特徴とする光結合装置。

【請求項2】 第1の要素部品が、高屈折率のコア層を低屈折率のクラッド層で取り囲んだ構造を有する光導波路であることを特徴とする請求項1に記載の光結合装置。

【請求項3】 該基板上の一部に窪みを有し、当窪みに、その表面が基板表面と同じ高さになるように該第1要素部品の該光導波路のクラッド層の一部が埋め込まれていることを特徴とする請求項2に記載の光結合装置。

【請求項4】 該基板表面の一部に窪みを有し、当窪みに、その表面が基板表面と同じ高さになるように前記クラッド層と同じかそれより低い屈折率を有するバッファ層が埋め込まれており、且つ、該バッファ層の上に該第1要素部品の該光導波路を設けたことを特徴とする請求項2に記載の光結合装置。

【請求項5】 該基板の表面に該第1要素部品の該光導波路のクラッド層と同じかそれより低い屈折率を有するバッファ層が形成され、該バッファ層の表面に該光導波路を設けたことを特徴とする請求項2に記載の光結合装置。

【請求項6】 該バッファ層の表面に該第2の光部品を載置していることを特徴とする請求項5に記載の光結合装置。

【請求項7】 該バッファ層が無機材料、該光導波路のクラッド層及びコア層が有機材料で形成されていることを特徴とする請求項4あるいは5に記載の光結合装置。

【請求項8】 該コア層の該バッファ層側にあるアンダークラッド層、該コア層の上側にあるアッパークラッド層を有機材料で構成し、該バッファ層とアンダークラッド層との間に無機材料の薄膜を挟み込むことを特徴とする請求項5あるいは6に記載の光結合装置。

【請求項9】 基板上の窪みに埋め込まれたバッファ層又はクラッド層が有機材料であることを特徴とする請求項3または4に記載の光結合装置。

【請求項10】 基板上に、互いに対向して載置された少なくとも一つの光導波路と少なくとも一つの光部品とを有し、該光導波路をいずれかの方向に伝播する光の光軸に垂直な断面の光分布の広がり、該光部品に対向する端面側では小さく、その反対側の端面に近づくに従って大きくなるか、又は該光部品に対向する端面側では大きく、その反対側の端面に近づくに従って小さくなる機能を有することを特徴とする光結合装置。

【請求項11】 該光導波路の構造が、少なくともその

一部に、相対的に高屈折率で且つ光軸方向に進むに従いその断面積又は断面の形状が変化する部分を有する主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つ該光導波路のクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有するものであり、更に該複合コアの周囲を該クラッド層で取り囲まれたものであることを特徴とする請求項10に記載の光結合装置。

【請求項12】 該光導波路が、少なくともその一部に、相対的に高屈折率で且つ光軸方向に進むに従いその断面積又は断面の形状が変化する部分を有する主コアを、該主コアより低屈折率で且つ該光導波路のクラッド層より高屈折率の副コアで上下又は左右の2方向からサンドイッチ状に挟み込んだ構造の複合コアを有するものであり、更に該複合コアの周囲を該クラッド層で取り囲んだ構造を有することを特徴とする請求項10に記載の光結合装置。

【請求項13】 光軸方向に進むに従い該副コアの断面積又は断面の形状が変化する部分を有することを特徴とする請求項11または12に記載の光結合装置。

【請求項14】 基板上に、少なくとも一カ所の曲がり部と該曲がり部の両端から伸びる二つの直線部とを具備した第1の光部品である光導波路と該光導波路直線部の一端に対向して載置された第2の光部品とを有し、少なくとも該光導波路曲がり部分が、相対的に高屈折率の主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有するもので、且つ該複合コアの周囲が該クラッド層で取り囲まれたものであり、且つ該光導波路の少なくとも一つの直線部の一部に、主コアを含まない構成の光導波路部を有していることを特徴とする光結合装置。

【請求項15】 基板上に、相対的に高屈折率のコアを相対的に低屈折率のクラッド層で取り囲んだ構造で且つ少なくとも一カ所の曲がり部と該曲がり部の両端から伸びる二つの直線部とを具備した第1の光部品である光導波路と、該光導波路の直線部の一端に対向して載置された第2の光部品とを有し、少なくとも該光導波路の直線部のうちの曲がり部から離れた領域のコアの断面積が曲がり部よりも相対的に小さくなっていることを特徴とする光結合装置。

【請求項16】 該光導波路のクラッド層、副コア層、主コア層の少なくとも1層を有機物の層とすることを特徴とする請求項11、12、13あるいは14に記載の光結合装置。

【請求項17】 該光導波路の主コア層に無機材料を副コア層に有機材料を使用することを特徴とする請求項11、12、13あるいは14に記載の光結合装置。

【請求項18】 互いに接している有機物材料の層間に、更に無機材料の薄膜を追加して積層したことを特徴とする請求項9、16あるいは17に記載の光結合装置。

【請求項19】 該光導波路を伝播する光の光軸に垂直

な断面の光分布の広がり、該第2の要素部品に対向する端面側では小さく、その反対側の端面に近づくに従って大きくなるか、又は該第2の光部品に対向する端面側では大きく、その反対側の端面に近づくに従って小さくなる機能を有することを特徴とする請求項2、3、4、5、6、7、8あるいは9に記載の光結合装置。

【請求項20】 該光導波路の構造が、少なくともその一部に、相対的に高屈折率で且つ光軸方向に進むに従い該光導波路を伝播する光ビームのスポットサイズが変化するようにその断面積又は断面の形状が変化する部分を有する主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有するものであり、更に該複合コアの周囲がクラッド層で取り囲まれたものであることを特徴とする請求項19に記載の光結合装置。

【請求項21】 該光導波路が、少なくともその一部に、相対的に高屈折率で且つ光軸方向に進むに従い該光導波路を伝播する光ビームのスポットサイズが変化するようにその断面積又は断面の形状が変化する部分を有する主コアを、該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで上下又は左右の2方向からサンドイッチ状に挟み込んだ構造の複合コアを有するものであり、更に該複合コアの周囲をクラッド層で取り囲んだ構造を有するものであることを特徴とする請求項19に記載の光結合装置。

【請求項22】 該光導波路が、少なくともその一部に、光軸方向に進むに従い該光導波路を伝播する光ビームのスポットサイズが変化するように該副コアの断面積又は断面の形状が変化する部分を有することを特徴とする請求項20あるいは21に記載の光結合装置。

【請求項23】 該第1の要素部品に、少なくとも1カ所の曲がり部と該曲がり部の両端から伸びる二つの直線部とを具備した光導波路が含まれ、且つ該第2の要素部品が該光導波路直線部の一端に対向して載置された構成を有し、少なくとも該光導波路の曲がり部が、相対的に高屈折率の主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有するもので、且つ該複合コアの周囲がクラッド層で取り囲まれたものであり、且つ該光導波路の少なくとも一つの直線部の一部に、該主コアを含まない構成の光導波路部を有していることを特徴とする請求項2、3、4、5、6、7、8または9に記載の光結合装置。

【請求項24】 該第1の要素部品に、相対的に高屈折率のコアを相対的に屈折率のクラッド層で取り囲んだ構造で且つ少なくとも1カ所の曲がり部と該曲がり部の両端から伸びる二つの直線部とを具備した光導波路が含まれ、且つ該第2の要素部品が該光導波路の直線部の一端に対向して載置された構成を有し、少なくとも該光導波路の直線部のうちの曲がり部から離れた領域にコアの断面積が曲がり部よりも相対的に小さくなっている光導波

路部を有していることを特徴とする請求項2、3、4、5、6、7、8または9に記載の光結合装置。

【請求項25】 該光導波路のクラッド層、副コア層、主コア層の少なくとも1層を有機物の層とすることを特徴とする請求項20、21、22あるいは23に記載の光結合装置。

【請求項26】 該主コア層に無機材料を該副コア層に有機材料を使用することを特徴とする請求項20、21、22あるいは23に記載の光結合装置。

10 【請求項27】 互いに接している有機材料の層間に、更に無機材料の薄膜を追加して積層したことを特徴とする請求項25あるいは26に記載の光結合装置。

【請求項28】 該基板が該光導波路を伝播する光に対して透明で且つ該光導波路のクラッド層より低屈折率な材料であることを特徴とする請求項2、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26または27に記載の光結合装置。

【請求項29】 上下方向を除く周囲が光導波路形成部材で取り囲まれた空孔内に該第2の光部品が配置されており、該空孔の下方及び上方を塞ぐように形成された該基板及び蓋用部材により該空孔内に該第2の光部品が気密封止されていることを特徴とする請求項2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26、27または28に記載の光結合装置。

【請求項30】 リング状の絶縁物を基体とする部材で、該リング状の基体をリングの内側から外側に貫通する電気配線パターンを有する電気配線部材を、該リング状の基体の底面が該光導波路形成部材の該空孔の外周部に接し且つ該リング状の基体の上面に該蓋用部材が接するように該光導波路形成部材と該蓋用部材との間に配置し、該第2の光部品を気密封止するとともに該第2の光部品に接続した電気配線パターンを外部に取り出すことを特徴とする請求項29に記載の光結合装置。

【請求項31】 該光導波路部材の表面の該空孔の周囲にリング状の金属部材を接着させ、該金属部材の表面に該蓋用部材又はリング状の基体を接着させることにより前記気密封止をすることを特徴とする請求項29または30に記載の光結合装置。

40 【請求項32】 該光導波路が、少なくとも該リング状の金属部材の下側部分については、相対的に高屈折率の主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有し且つ該複合コアの周囲をクラッド層で取り囲んだものであることを特徴とする請求項31に記載の光結合装置。

【請求項33】 該第1の間隔と該第2の間隔の差が、該第1の要素部品と該第2の要素部品とをそれぞれ単独に光結合する場合の結合トレランスの2倍以内であることを特徴とする請求項1に記載の光結合装置。

50 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ通信あるいは光情報処理に用いる光装置に関し、特に光半導体レーザ等の光半導体素子とシングルモード光導波路又は光半導体レーザ等の光半導体素子とシングルモード光ファイバを光結合する光結合装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】二つ以上のシングルモード型の光部品を高効率に光結合させるには、二つの部品間のモード整合を行うとともに精密な光軸の位置合わせが必要である。ここでモード整合とは、互いに光結合すべき二つのシングルモード型の光部品内に閉じ込められた光の強度分布（モードサイズとも言う）を、二つの光部品間で一致させることである。このような二つの部品間のモード整合及び精密な光軸の位置合わせをするための従来の技術には、例えば図50～図59に示すようなものがある。

【0003】図50は、半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ3をレンズ41、42を用いて光結合するもので、第1のレンズ41で光ビームを平行にし、第2のレンズ42で収束させて光結合するものである。二つのレンズを用いることによって、半導体レーザ等の光半導体装置200から出力される光ビームのスポットサイズ（ $1.2\mu\text{m}\times 1.7\mu\text{m}\sim 2.1\mu\text{m}\times 3.2\mu\text{m}$ ）を4～6倍程度まで拡大し、光ファイバ3のモードサイズ（約 $10\mu\text{m}$ ）に整合させるものである。かかる第1のレンズ41及び第2のレンズ42で光半導体装置と光ファイバのモードを整合させることにより高い結合効率が得られる。

【0004】更に、図51(a)あるいは図51(b)に示すように、第1のレンズ41と第2のレンズ42の間に封止用窓607を介在させて半導体レーザ等の光半導体装置200を気密封止し、光半導体装置200が湿気や酸化等により劣化することを防止している。ここに600は気密封止部、601は基体、603は半導体レーザのサブマウント、606は封止用スペーサ、31は光ファイバ3を保持するためのフェルルール、32は第2のレンズ42を介して光ファイバ3と第1のレンズ41とを結合させるファイバ結合部である。

【0005】次に図52は、先端をレンズ状に加工した光ファイバ3A（図52に示すものはテーパ先球ファイバという。この他に光ファイバの先端を熔融させて先端にレンズ様のものを形成する方法もある。）を用いて光結合するものである。光ファイバの先端を細くしかつ球面状にすると、光ファイバの入射端における光ビームのモードサイズが小さくなる。その結果、光ファイバと半導体レーザのモードサイズが一致し結合効率が向上する。

【0006】図53は図52に例示した結合系において半導体レーザを気密封止する例を示すものである。真空蒸着等により表面に金属被覆（図示せず）を施した光ファイバ3Aを半田611等を用いてブロック610に固定し、光ファイバ3Aを保持したフェルルールを保持するための部材32のフランジと、封止部600との境界部を溶接して気密封

止する。

【0007】ここに、図50、図51(a)及び図51(b)の場合には半導体レーザ等の光半導体装置200と二つのレンズ41、42と光ファイバ3を、図52及び図53の場合には半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ3Aを極めて精密に位置合わせする必要がある。その際、その位置合わせには高い精度が要求される。そのため、例えば光半導体装置200が半導体レーザである場合には、半導体レーザを発光させ、光ファイバ3あるいは3Aに結合した光の強度を計測し、それが最大となるように位置合わせを行い、固定する。

【0008】図54は、半導体レーザ等の光半導体装置と光ファイバの位置合わせを簡易化する例である。例えば実装用基板180に、その表面にフォトリソグラフィプロセスによってV溝181とボンディングパッド（例えば図60に例示の102）と位置合わせ用マーク（例えば図60に例示の107）を形成したシリコン基板等を用い、この基板180上のV溝181で光ファイバ3をガイドして位置決めする。一方、半導体レーザ等の光半導体装置200には、基板上の位置合わせマークに対応するマーク（例えば図60に例示の204）と基板180上のボンディングパッドに対応するボンディングパターン（例えば図60に例示の202、203）を形成したものをを用いる。そして、精密な微動装置を用いて半導体レーザ等の光半導体装置200の位置合わせマーク（例えば図60に例示の204）が基板上の位置合わせマーク（例えば図60に例示の107）に一致するように位置合わせし、ボンディングする（これは、例えば「IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, HYBRIDS, AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, VOL. 15, NO. 6, p. 944-955 (1992)」、「1993年電子情報通信学会秋季大会講演論文集 4-266」等に記載されている）。このようにすることにより、半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ3の位置合わせが行われる。なおここで、図54に例示した光結合装置に1Bという記号を付し、これを以下の説明に引用する。

【0009】図54に示す従来例において、光半導体装置200が半導体レーザである場合には、例えば、図55のように、光ファイバにテーパ先球ファイバ3Aを用いると、光ファイバ3Aと半導体レーザ200のモードサイズが一致し、結合効率が向上する。

【0010】図56は、図54あるいは図55のような結合系において、半導体レーザ等の光半導体装置を気密封止する例を示すものである。ここに図56(a)は気密封止をする前、図56(b)は封止をした後の構成を示すものである。

【0011】図56に示す装置の気密封止は次のようにして行われる。まず、半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ3を結合した光結合装置1Bを、一部に切り欠き703がある突起枠702を有する基体700上に配置する（図56(a)）。次いで突起枠702の上側及び周囲にエボ

キシ系の接着剤705を塗布する。次いで蓋400をかぶせ、蓋400と基体の間の隙間を接着剤705で埋め込んで気密封止する(図56(b))。

【0012】次に他の従来例について説明する。図57は光部品に光導波路を含み、該光導波路と他の光部品を光結合する例を示すものである。図57(a)は斜視図、図57(b)は図57(a)の左下方向から見た前面正面図である。本例では、基板100上にクラッド層301とコア302よりなる2層構造の光導波路300と同じ光導波路部材よりなる突起物300A(以下これを「スタンドオフ」という)を形成し、4隅に切り欠き202を形成した光半導体装置200の切り欠き部202をスタンドオフ300Aに嵌め込み位置合わせを行っている。

【0013】なお、本例の光導波路300はマルチモード導波路であり、そのクラッド層301の厚さは $50\mu\text{m}$ 以上である。図57に示すような光結合装置においては、半導体レーザ等の光半導体装置200の4隅の切り欠き202を精度よく形成することが困難になる問題がある。

【0014】次に、光導波路に、図57に示すようなマルチモード導波路ではなくシングルモード光導波路を用いる場合においては、例えば、図58に示すような光導波路が用いられる。図58の従来例では、例えば、基板100にシリコン基板が用いられ、導波路300のクラッド層301とコア302に石英が用いられる(図58のクラッド層301はコア302の周囲を覆うものであるため「クラッド層301」と言うよりも「クラッド301」のほうがふさわしいが、用語を統一するため「クラッド層301」とする。以下同じ。)

【0015】この場合、コア301とクラッド層302の比屈折率差[コア(屈折率 $n_1$ )とクラッド(屈折率 $n_2$ )の屈折率の比屈折率差をクラッドの屈折率で割った値の百分率、即ち $\{(n_2 - n_1) / n_1\} \times 100$ ]、を $0.3\% \sim 0.75\%$ とし、コア302のサイズを $5 \times 5\mu\text{m} \sim 8 \times 8\mu\text{m}$ 程度とすれば光ファイバと光結合したとき比較的高い結合効率が得られる。この場合の基板とコアの間のクラッド層の厚さ(図58(b)の $t$ )は $30\mu\text{m}$ 以上である。

【0016】なお図58に示すような方法を用いて光導波路300と光半導体装置200を結合する場合で、光半導体装置200が通常の半導体レーザである場合には半導体レーザ200の光軸を持ち上げる必要がある。そのための構成として、図59に示すように半導体レーザ200の下にスペーサ5を置くものが考えられる。

【0017】以上のように従来においては、レンズによるモード整合や先端をレンズ状に加工した光ファイバによるモード整合を行うとともに、光ファイバの場合に微動装置による精密な位置合わせ(図51、図53の場合)や基板上の溝による光ファイバの位置合わせ(図54～56)や、半導体レーザを基板に実装する場合に微動装置を用いて基板と半導体レーザのマークを一致させる半導体レーザの位置合わせ(図60)が行われ、光導波路の場合に

スタンドオフと切り欠きによる位置合わせが行われ、光導波路と半導体レーザの光軸の高さ合わせにスペーサの使用等が必要であった。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図50～図56に示す従来例には次のような問題がある。まず、図50～図53の場合には、半導体レーザ等の光半導体装置200とレンズ41、42と光ファイバ3あるいは光半導体装置200と光ファイバ3を非常に精密に位置合わせする必要がある。そのため、光部品の位置合わせに多くの時間を要する問題がある。また、位置合わせの間、半導体レーザ等の光半導体装置200を能動状態(例えば半導体レーザを発光させる)にしているため、誤操作等により半導体レーザ等の光半導体装置を劣化させたり破壊したりする問題がある。

【0019】次に図54～図56に示すものは、半導体レーザ等の光半導体装置を能動状態にする必要が無いという利点を有する。しかし、光結合効率を一定以上(例えば最大値の80%以上)に保持させる位置ずれの許容値(この位置ずれの許容値を結合トレランスという)が図55のように先端にレンズ機能を持たせた光ファイバ3Aを用いる場合には $0.5\mu\text{m}$ 以下、図54のように先端が平らな光ファイバ3を用いる場合でも $\pm 1\mu\text{m}$ 以下の小さなものになる。そのため、機械的に位置合わせすることは容易ではないという問題がある。特に、半導体レーザ等の光半導体装置200をボンディングする際、光ファイバ3をガイドする溝181と半導体レーザ等の光半導体装置200との軸ずれを所定値以下にすることが困難になるという問題がある。更に、図54の場合には半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ3とのモード不整合が大きくなり、結合損失が大きくなる(結合損失は最小でも7dB程度になる)という問題がある。

【0020】図57の光導波路300と半導体レーザ等の光半導体装置200の光結合においては、光半導体装置200の4隅の切り欠き202を精度よく形成することが必ずしも容易ではないという問題がある。

【0021】次に図58のように、基板100に、シリコン基板など、導波路材料(具体的には石英)よりも高屈折率のものを用いる場合には、基板100への光の放射を低減させるためコア302の下側のクラッド301を厚いものにする必要がある。例えば例示した構造(比屈折率差が $0.3\% \sim 0.75\%$ 、コアのサイズが $5 \times 5\mu\text{m} \sim 8 \times 8\mu\text{m}$ )の場合には、前述の通り下側のクラッド層を $30\mu\text{m}$ 以上にしなければならない。このことは図57のような光導波路を用いる場合においても同様である。しかし、図57や図58に例示する光導波路と半導体レーザの光結合においては、両者の光軸の高さの一致が難しくなる問題がある。このことを明確にするため、次に図60に従来の半導体レーザのボンディング法の例を、次いで、図61に半導体レーザを基板上のボンディングパッドにフリップチップボ

ンディングするときの構成とその寸法の例を示し、半導体レーザの光軸高さについて具体的に説明する。

【0022】図60は半導体レーザ200を基板100に載置する例の主要部のみを例示するものである。図60(a)は載置の一過程を示す斜視図、図60(b)は載置後の正面図である。図60(a)に例示するように、半導体レーザ200の下側表面のボンディングパッド202を形成し、形成されたボンディングパッド202上にボンディング用融材（金錫共晶合金等）203を被着させ、ボンディング用融材を挟んでボンディングパッド202を、基板上に別に形成されたボンディングパッド102に重ね、そのうえで加熱、冷却することにより、半導体レーザ200は図60(b)に示すように基板100上に接着固定される。

【0023】次に、図61は図60の方法でボンディングされようとしているシリコン基板100と半導体レーザ200の詳細な層構造を例示するものである。例えば図60(b)の中央のボンディングパッド102、電極層202、ボンディング用融材203付近を拡大したものである。図61を用いて、各部分の具体的寸法を求める。例えば、配線パターン102Aの厚さが $0.3\mu\text{m}$ 、絶縁膜108の厚さが $0.3\mu\text{m}$ 、ボンディングパッド102の厚さが $0.35\mu\text{m}$ 、ボンディング用融材203の厚さが $2\sim6\mu\text{m}$ 、電極層202の厚さが $0.5\mu\text{m}$ 、絶縁膜26の厚さが $0.3\mu\text{m}$ 、クラッド層231の厚さが $1.5\mu\text{m}$ 、能動領域層（図では活性層と記載）201の厚さが $0.14\mu\text{m}$ である。この場合には、基板の熱酸化膜101の表面から半導体レーザの活性層201の中心までの高さは $5.32\sim9.32\mu\text{m}$ になる。

【0024】このように、半導体レーザ200の光軸の高さ（ $5.32\sim9.32\mu\text{m}$ ）は光導波路のコアの中心の高さ（約 $33\mu\text{m}$ ）に比べて極めて低いものである。このため、図57および図58の従来例においては、半導体レーザ200を基板100に直接ボンディングして光結合する場合には、半導体レーザ200の光軸と光導波路300の光軸と高さを一致させることが困難になる問題を生ずる。

【0025】ここで、図59のように半導体レーザの下にスペーサ5を置くことによって半導体レーザ200の光軸と光導波路300の光軸と高さを一致させることが考えられる。しかしこの場合には、光導波路300の光軸が高いことに起因してスペーサ5と光導波路300の加工誤差による位置ずれが大きくなる問題を生ずる。即ち、スペーサ5と光導波路300の加工誤差による位置ずれの大きさは両方の光軸の高さに比例するので、図58(b)のように光導波路300の光軸高さ $t$ が高くなると誤差寸法が大きくなり、ずれが大きくなる問題を生ずる。具体的には、スペーサ5の加工誤差と光導波路300の加工誤差が共に $\pm 5\%$ であれば、光軸高さが $30\mu\text{m}$ の場合には各々 $\pm 1.5\mu\text{m}$ の誤差を生じ、合計では最大 $\pm 3\mu\text{m}$ の位置ずれを生ずる。この大きなずれのため、通常の半導体レーザとシングルモードの光導波路を結合する光結合装置において、所望の結合効率が得られない不良品が多数発生する

問題がある。

【0026】以上のように図50～図53に例示される従来例においては、レンズや先端をレンズ状に加工した光ファイバによりモード整合が行われるが、光半導体素子を能動状態にし、光出力を計測しながら精密な位置合わせをしなければならない問題があり、図54、図55、図56、図57、図58、図60に例示される従来例においては、基板上の溝による光ファイバの位置合わせやフォトリソグラフィによる光導波路の位置合わせを行い、微動装置を用いて基板と半導体レーザのマークを一致させて半導体レーザを位置合わせする方法（図54、図55、図56、図58、図60）やスタンドオフと切り欠きにより位置合わせする方法（図57）が用いられるため、位置合わせの際に光半導体素子を能動状態にする必要はなくなる。しかし、図54～図58及び図60に例示される従来例には、光半導体素子をボンディングする際の位置ずれが大きくなりやすいため光結合効率が低下しやすい問題があり、図57及び図58に例示される従来技術には、光半導体素子と光導波路の光軸の高さを一致させることが難しい問題があり、図54、図56、図58、図59に例示される従来技術には半導体レーザと光ファイバあるいは半導体レーザと光導波路のモード不整合が生じる問題があった。

【0027】従って、本発明は上記従来の光結合装置の持つ問題を解決することを課題としており、特に、光半導体素子等の能動素子を能動状態にすることなく位置合わせして光結合する場合に、光半導体素子の位置合わせに非常に高い精度が要求されるという問題の解決、光半導体チップと光導波路を光結合する場合に光軸の高さを一致させることが難しくなるという問題の解決、光結合の際の位置合わせを簡易化しようとする場合に光半導体素子と光導波路あるいは光半導体素子と光ファイバのモードを整合させることが困難になるという問題の解決を課題とする。

【0028】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するための手段の構成及び動作の要旨は次の通りである。手段1及び2は、半導体レーザ等の光半導体素子を能動状態にすることなく本発明の光結合装置（以下本光結合装置とする）の製作過程の位置合わせのみにて光結合させることができ、且つその位置合わせに高精度の光学調整を行わずに高い結合効率で光半導体素子と光導波路とを光結合させることを可能にさせ、手段3～8及び手段19は、上記位置合わせにて、光半導体素子と光導波路の光軸の高さを比較的容易に一致させることを可能にさせ、手段9～12、15及び16は、上記位置合わせにて、光半導体装置と光導波路の高精度のモード整合を可能にさせ、手段13は、本光結合装置の光導波路の曲がり部分における伝搬損失を低減させ、手段17は、本光結合装置の光導波路の加工を容易にさせ、手段20～22は、上記手段1～19を用いて作られた光半導体素子を気密封止するものであ



り、さらに、手段23は、本光結合装置の光半導体素子の気密封止に使用される金属部材の近傍に光導波路が配置された場合、その金属部材が近傍にあることが原因で光導波路の光伝搬損失が増加することを防ぐものである。

【0029】以下に手段1～手段23について説明する。手段1は図1、図8、図10、図11、図13～図18、図20～図27、図29、図31、図33、図35、図46、図47及び図49(c)に例示するように、二つの要素部品の単独で光結合するトレランスを $T_0$ として、複数個の第1要素部品の間隔が $P_1$ である光部品(200、図1では200X)と、複数個の第2の要素部品の間隔が $P_1 + 2 \times T_0$ あるいは $P_1 - 2 \times T_0$ (このピッチを $P_2$ とする)である光部品(300、図1では300X)とを用い、これらに対向させて光結合するものである。例えば図1に例示するように対向させた光部品について、各々対向する要素部品間の光結合状態を計測し、最も結合度の大きい1対の要素部品を選択し、これを光結合装置として用いる。例えば第1のアレイ状に整列した第1の要素部品200Xが半導体レーザ、第2のアレイ状に整列した第2の要素部品300Xが光導波路である場合には、半導体レーザ200Xを発光させたときの光導波路300Xからの光出力が最大となる1対の半導体レーザと光導波路を選択する。以下、従来例と比較しながら本手段による結合トレランスの拡大について説明する。

【0030】図54～図58に例示する従来例は、光半導体素子を能動状態にする必要がないという点において優れたものであるが、光半導体素子の位置合わせが難しいことが問題となっていた。この従来例において、光半導体素子のみが特別にその位置決めが難しくなるのは、光半導体素子を基板に搭載するには能動的な位置合わせが不可欠であり、その際に大きなずれが生じるためである。例えば、光ファイバや光導波路の場合には、光ファイバを位置決めするための溝や光導波路パターンが形成されれば、部品を基板に搭載する際に能動的な位置合わせが不要であり、よって搭載時の位置ずれは生じない。これに比べ、光半導体素子の場合には、基板に搭載するときに必ずフォトリソグラフィプロセスにおけるマスク合わせのような能動的な位置合わせが必要である。この際、光半導体素子のサイズが小さいため、フォトリソグラフィプロセスに比べて大きなずれが生じる。

【0031】光半導体素子の位置合わせと光ファイバをガイドする溝や光導波路のコアパターンの形成の際のフォトリソグラフィにおけるフォトマスクの位置合わせとを比較すると、光半導体素子(300 $\mu\text{m} \times 250\mu\text{m}$ )はフォトマスク(100mm $\times$ 100mm)等比べてサイズが小さい。そのためボンディングの際に光半導体素子を安定に支持することが難しく、フォトマスクのように精密に位置合わせすることが困難になる。

【0032】例えば、ボンディング装置で光半導体素子を支持した後にその位置を計測し、その計測値に基づいて位置調節をしてボンディングする方法があるが、サイ

ズが小さいために保持する精度及び位置計測精度が悪くなり、精密な位置合わせが困難になる。また、フォトリソグラフィの場合には位置合わせをするべき二つのパターン(マスクが合わせられるべき基板上的パターンとマスクのパターン)を接近させ(例えば、ギャップが10 $\mu\text{m}$ 以下になるまで近接させることができる)、フォトマスク越しに二つのパターンの重なりをモニターし、位置合わせを行う。これに対し、光半導体素子はサイズが小さく、フォトマスクに比べて平坦でないため、ギャップの計測が困難である。そのため、基板に接近させることが困難である。さらに、不透明であるため、重なりをモニターすることも困難である。このため精度よく位置合わせすることが困難になる。

【0033】さらに、第2には、光半導体素子のボンディングでは固着用部材に低融点の金属が用いられ、ボンディングの際、加熱と冷却が行われるため、ボンディング装置に熱膨張と収縮が生じ、折角位置合わせを行っても、最終的な製品での光半導体装置の位置精度が低下する。

【0034】以上、基板に光半導体素子を載置する際の位置ずれは、光半導体素子のサイズが小さいことと加熱・冷却工程を含むことに起因しており、現在のところこれを著しく改良することは困難である。そこで発明者は、光半導体素子をボンディングする際の光半導体素子の位置ずれが大きくても、光結合が可能になる方法を考案した。

【0035】手段1は上記考案に基づくものであり、光半導体素子をボンディングする際の位置ずれを小さくする代わりに、等価的に、光半導体素子の結合トレランスを拡大するものである。以下図1を用いて具体的に説明する。

【0036】図1は手段1を説明する図である。手段1は、要素部品間のピッチが $P_1$ の第1のアレイ状の光部品200X(以下アレイを構成している一つの部品を要素部品という)と要素部品間のピッチが $P_1 + 2T_0$ あるいは $P_1 - 2T_0$ の第2のアレイ状の光部品300Xを対向させることにより構成される。なお、図1においては、第1のアレイ状の光部品200Xの要素部品と第2のアレイ状の光部品300Xの要素部品とを光結合する場合の結合トレランスを $T_0$ として、 $P_2$ が $P_1 + 2T_0$ に等しい距離となるように第2の光部品300Xのピッチ $P_2$ を調節している。さらに、図1はアレイ状の光部品(200X、300X)を構成する要素部品のうち中央の要素部品同士の光軸が一致するようにしたときの状態を示している。

【0037】第1のアレイ状の光部品200Xの要素部品と第2のアレイ状の光部品300Xの要素部品とを図1のように配列すると、互いに対向する各要素部品間の光軸の位置ず次に手段8は、図35、図36、図47、図49(c)に例示するように、基板(100)の一部に窪み(106)を形成し、この窪み106に屈折率がクラッド層と同じかあるい

はクラッド層よりも低屈折率のバッファ層(310)をその表面が基板の窪みの無い部分の表面と同じ高さになるように埋め込み、その上にクラッド層(301あるいは301A)とコア(302)、オーバークラッド層(301、301B)を含む光導波路300を形成するものである。

【0038】このようにすることにより、実効的に光導波路の光軸が低くなるため上下方向の光軸の位置合わせが容易になる。さらに、光部品200がシリコン基板100上に搭載されるので、光部品200が発熱体である場合の熱放散が良好になる効果が生ずる。例えば図35に例示するように、本手段による光導波路300は基板100に形成した窪み106にバッファ層310が埋め込まれた構造となっている。本バッファ層310は無機材料であっても有機材料であってもよい。バッファ層310を埋め込んだ基板は、バッファ層310となる材料を窪み106に充填した後基板100の表面を基準面にして研削及び研磨を行い平坦化する工程をもって形成される。そしてバッファ層310の表面を平坦化したものをバッファ層付の基板として用い、ボンディングパッドと配線電極用パターンを形成する。次いで、順次アンダークラッド層301A、コア302、オーバークラッド層301Bを形成する。光学部品200は、光導波路のコアに対向して、窪み106の無い部分にボンディングされる。

【0039】図35に例示するように、窪み106に埋め込まれたバッファ層310を十分厚くすると光の基板100への光の放射が防止されるようになる。そしてアンダークラッド層301Aの厚さとコア302の厚さを調節すると基板表面からみたコアの中心の高さを精密に調節できるようになる。更に基板表面からみたコアの中心の高さを5～6 $\mu\text{m}$ にして基板100にボンディングされた半導体レーザ200の光軸高さに一致させることができるようになる。よって上下方向の光軸の位置合わせが容易になる。

【0040】更に光導波路のアンダークラッド層301A、コア302、オーバークラッド層301Bを有機材料にすると、光導波路300を形成する前に、バッファ層付基板の表面に、電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することが可能になる。光導波路の材料が有機物の場合には、比較的低温で、塗布工程等を用いて導波路形成を行うことができるからである。

【0041】光導波路を形成する前のバッファ層付基板の表面は平坦なので、フォトリソグラフィ工程を用いて、容易に精密な電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することができるようになる。そのため光導波路とボンディングパッドの相対的な位置合わせが容易になる。

【0042】光導波路を有機材料にすることにより、導波路の形成に酸素プラズマエッチングを用いることができる。この際、酸素プラズマは金属やシリコン基板などの無機材料を侵さないで、ボンディングパッドを形成した後光導波路を形成し、次いで酸素プラズマエッチン

グで端面を形成し、ボンディングパッドを露出させても、ボンディングパッドが侵されない利点がある。

【0043】次に、手段9～手段12は光導波路の両端の光ビームのスポットサイズが両端に結合される光部品に一致するような光導波路を用い、両端の光部品との結合効率の向上または結合トレランスを拡大するものである。以下に手段9～手段12について述べる。

【0044】まず手段9は、図37(a)、図38(c)、図39、図40、図42、図44(b)、図45、図46に例示するように、光結合装置に、入射端から出射端に向かって光が伝播すると、入射端と出射端でガイドされる光の強度分布が変化する光導波路を用いるものである。

【0045】例えば図38(c)に例示するように、本手段による光導波路300を半導体レーザ200と光ファイバ3の間に介在させ、半導体レーザ200と光結合する側のスポットの形状を半導体レーザ200と同じにし、光ファイバ3と光結合する側のスポットの形状を光ファイバ3と同じにすれば、高い結合効率で光結合できるようになる。

【0046】更に、本手段による光導波路により、光ファイバと対向する側の光導波路300の出射端のスポットサイズを大きくすると、光導波路300と光ファイバ3の間の結合トレランスの拡大も行われる。この光導波路300と光ファイバ3の間の結合トレランスの拡大は、例えば図38(c)に例示するように、半導体レーザ200と光導波路300を集積化実装し、導波路300と光ファイバ3を位置合わせして光結合し組立をするような光結合装置の製造に際し、ファイバの位置合わせを簡易化する効果を生ずる。

【0047】更に、図38(c)に例示する場合において、クラッドと副コアの屈折率差を小さくし、副コアの断面を大きなものとするれば、光ファイバ3と光結合する側の光導波路300のスポットサイズを大きなものとすることが可能になる。例えば図6のグラフ(a)は、図2のようなスラブ導波路のコアとクラッド(屈折率1.55)の比屈折率差が変化したとき、導波路にガイドされる光のスポットサイズがどのように変化するかを例示するものである。なお、コアとクラッドの比屈折率差を変化させるとコアの厚さも変化させなければならないため、図6にはコアの厚さ(グラフ(b))も同時に示している。

【0048】図2のスラブ構造の光導波路の場合の具体的スポットサイズを例示すると、比屈折率差が0.2%、コアの厚さが7.9 $\mu\text{m}$ のとき約11 $\mu\text{m}$ のスポットサイズになる。このような光導波路に、部分的にコアを拡大した光ファイバ(例えばTechnical Digest of The Second Optoelectronics conference, 3C2-2, 1988等に記載のもの。以下これを「TECファイバ」という。)を結合すると、光導波路と光ファイバの結合トレランスがより拡大されるようになる。例えばガイドされる光のスポットサイズを18 $\mu\text{m}$ まで拡大したTECファイバを用いると、約91%の最大結合効率と $\pm 3.6\mu\text{m}$ の結合トレランス(結合効

率が最大値の80%以上の場合)が得られる。この結果、光導波路と光ファイバの光結合が容易になる。

【0049】さらに、本手段を用いると、光導波路のコアを曲げたときの損失が低減する効果を生ずる。次にこれについて説明する。光導波路のコアを曲線にすると、その曲率半径が小さくなると光が外部に放射され損失となる。この放射の起こり易さは光導波路の構造に依存する。

【0050】光導波路のコアとクラッドのうち、コアに閉じ込められている光の割合(電界分布のうちコア内に分布しているものの積分値の全体の積分値に対する割合)を「光の閉じ込めの強さ」と定義すると、光の閉じ込めが強いほど、導波路の曲げによる損失が小さくなる。そして、本手段によるもののように、導波路のスポットサイズが変化する導波路においては、スポットサイズが小さいところでは光の閉じ込めが強くなる。よって、他の光部品と光結合をする部分と曲がりの部分を含む光導波路において本手段を用い、相対的に曲がりの部分のスポットサイズを小さくし、他の光部品と光結合をする部分のスポットサイズを大きくするようにすると、曲がりの部分の放射損失が小さく、あるいは曲がりの部分の曲率半径が小さく(よって小型化が可能で)、且つ他の光部品との光結合が容易な光導波路が実現される。

【0051】手段10は、光結合装置に、図37、図38(c)、図39、図40、図42、図44(b)、図45、図46に例示するように、相対的に高屈折率で、光軸方向に進行するにともなって途中から徐々にその断面積あるいはその外側の輪郭の形状が変化する部分を有する主コア(302A)の周囲を、相対的に低屈折率の副コア(302B)で取り囲む構造の複合コアを有する光導波路を用いるものである。

【0052】本手段に用いる光導波路は、例えば図37(a)に例示するように、主コア302Aを副コア302Bで取り囲んだものをコアとする光導波路で、図示したように、例えば、光導波路の右上側では主コア302Aの幅が広く途中から幅が徐々に狭くなり、やがて主コア302Aが消失するものである。図37(d)の電界分布(2)に例示するように、右側の幅が広い主コア302Aを有する部分では、主コアをコアとし副コアをクラッドとする光導波路が形成されるため光(図37(d)の(1)及び(2)は電界分布を示す)は狭い範囲に閉じ込められる。そのためスポット径が小さくなる。主コア302Aが消失すると副コア301Bのみで光を閉じ込めるようになるので、図37(d)の左側の電界分布(1)に示すように、スポット径が大きくなる。中間部においては、図37のように徐々にコアの形状を変化させることにより徐々にスポット径が変化するようになる。本手段を用いることにより、手段9に記載の光導波路が具現化される。

【0053】手段11は、図40、図41、図45(a)、図45(b)に例示するように、手段10の光導波路において、副コア

302Bを、光軸方向に進行するにともなって徐々にその断面積あるいはその輪郭が変化する部分を有する構成としたものである。

【0054】図40(a)の光導波路は光導波路の右上から左下に進むに従って副コア302Bの幅が徐々に広がる領域を含むものとなっており、図40(b)の光導波路は光導波路の右上から左下に進むに従って副コア302Bの幅が徐々に狭くなる領域を含むものとなっている。

【0055】図40(a)及び図40(b)に示す光導波路の右上の端の部分でガイドされる光の水平方向の電界分布と副コアの幅との関係を図41に示す。ここに図41(a)は光導波路の断面とそれにガイドされる電界の強度分布(1)を例示するもの、図41(b)は図41(a)における副コア302Aの幅 $W_s$ と副コア302Aの屈折率 $n_2$ が変化したときの電界強度分布(1)の幅 $W_e$ ( $W_e$ はスポットサイズ)の変化を例示するものである。

【0056】図41(b)に例示したように、副コアの幅を広くすると電界分布が広いものとなり、副コアの幅を狭くすると電界分布が狭くなる。よって副コアの幅を調節して電界分布の形状を調節し、光導波路に結合される他の光部品とのモード整合をすることができる。

【0057】さらに、副コアの屈折率を小さくすると電界分布が広いものとなり、副コアの屈折率を大きくすると電界分布が狭くなる。よって副コアの屈折率を調節して電界分布の形状を調節し、光導波路に結合される他の光部品とのモード整合をすることができる。このように本手段を用いることにより手段10に記載の光導波路が改良され、電界分布の調節範囲が拡大される。

【0058】次に手段12は、図39、図45(c)に例示するように、相対的に高屈折率で光軸方向に進行するにともなって途中から徐々にその断面積あるいはその形状が変化する主コア302Aを、相対的に低屈折率の副コア302Aで上下又は左右の2方向からサンドイッチ状に挟み込んだ構造の主コアと副コアを組み合わせたものを光導波路のコアとするものである。なお、図39、図45(c)には、副コア302Bで主コア302Aを上下2方向から挟み込んだもののみが例示されているが、縦と横の関係を入れ替えると、副コアで主コアを左右2方向から挟み込んだものも同等の作用を有する光導波路となる。

【0059】図41(b)に例示したように、図41(a)の構成の光導波路においては、副コアの幅を変化させると、副コアと主コアの幅が同じになったとき最もスポットサイズが小さくなる。よって本手段による光導波路は小さなスポット径を持つ光部品とのモード整合に適するものとなる。

【0060】次に手段13は、図42に例示するように、曲線状の光導波路300の少なくとも曲がりを有する部分に、主コア302Aと副コア302Bを有する手段10~12のいずれかの光導波路を用いるものである。

【0061】光は光導波路のコアのような屈折率の高い

部分に閉じ込められる性質を持つので、光導波路が曲がったものであっても光導波路に沿って伝搬する。しかし、光には本来直進する性質があるので、光の閉じ込めが弱くかつ曲がりの曲率半径が小さい場合には、曲がり部分で光が光導波路から飛び出してしまう（以下これを曲がりによる光の放射という）。そして、導波路の光の閉じ込めの強さは光導波路の構造に依存し、一般的にはコアのサイズが一定の場合にはコアとクラッドとの屈折率の差が大きいほど閉じ込めが強くなる。また図37に示すような光導波路においては、主コア302Aのある部分では、主コア302Aと副コア301Bの両方で光を閉じ込めるので、主コア302Aのある部分の光の閉じ込めは主コア302Aの無い部分に比べて強いものとなる。そのため、図42に例示するように、導波路の曲がりの部分に主コア302Aと副コア302Bを形成したものとすると、曲がりの部分の光の閉じ込めが他の部分に比較して強くなる。そのため曲がり部分での放射が起こりにくくなる。その結果曲がりの曲率半径を小さくすることが可能になり、光導波路が小型になる。

【0062】次に手段14は、図43に例示するように、曲線状の光導波路の、少なくとも曲がりの部分に、相対的に断面積が大きいコア302を形成するものである。光導波路の光の閉じ込めの強さは光導波路の構造に依存し、一般的にはコアのサイズが一定の場合にはコアとクラッドとの屈折率の差が大きいほど閉じ込めが強くなり、コアとクラッドの屈折率の差が一定の場合にはコアの断面積が大きいほど閉じ込めが強くなる。

【0063】また、光導波路にガイドされる光のスポットサイズは、コアとクラッドの比屈折率差が一定である場合には、コアの断面積が小さくなるほど大きくなる。従って図43に例示するように、光導波路の端部のコア302の断面積を小さくするとスポットサイズが拡大され光ファイバ等との結合が容易になる。一方、導波路が曲がっている部分についてはコア302の断面積を大きくすると、と相対的に光の閉じ込めが強くなる。そのため曲がり部分での放射が起こりにくくなる。その結果曲がりの曲率半径を小さくすることが可能になり、光導波路を小型にすることが可能になる。

【0064】次に手段15は、図37、図38(c)、図39、図40、図42、図44(b)、図45、図46に例示するような手段9～手段13のいずれかの光導波路について、当光導波路を構成する層の少なくとも1層を有機物で構成するものである。

【0065】この光導波路の場合、アンダークラッド層301Aと主コア302Aと副コア302Bとオーバークラッド層301Bに有機物を用いている。このようにすると、主コア302Aと副コア301Bを酸素プラズマでエッチングして所定の形状に加工し、再び有機物301Bを塗布するだけで容易に所望の光導波路を形成することができる。

【0066】次に手段16は、図37、図38(c)、図39、図4

0、図42、図44(b)、図45、図46に例示するような手段9～13のいずれかの光導波路について、少なくとも主コア302Aに無機材料を、副コア302Bに有機材料を用いるものである。

【0067】即ち、これらの図に例示する光導波路において、主コア302Aを例えばプラズマCVDで形成したシリコン酸化膜やシリコン窒化膜にすると非常に薄いコアを形成することが可能になる。更に屈折率を1.6～1.9の範囲で制御することも可能になる。

10 【0068】例えば主コア302Aと副コア302Bにポリイミド等を用いる場合には、ポリイミドの屈折率は1.5～1.6の範囲であるため、主コア302Aと副コア302Bの比屈折率差は約3.2%以下になる。比屈折率差が小さい場合には、コアが薄くなると閉じ込めが弱くなる。そのためコアサイズを小さくしてもスポットサイズが小さくならない。これに対し、副コア302Bにポリイミドを用い、主コア302Aにシリコン酸化膜やシリコン窒化膜を用いると、比屈折率差を最大20%程度まで大きくすることができる。その結果比較的モードサイズが小さい光導波路を形成することが可能になる。

20 【0069】図7はクラッド層301と副コア302Bの比屈折率を0.5%、副コアの厚さを $5\mu\text{m}$ 、主コア302Aの屈折率を1.6～1.9の間で変化させたときのスポットサイズを例示するものである。図7のグラフのうち曲線(a)は主コアの厚さが $0.2\mu\text{m}$ の場合、曲線(b)は主コアの厚さが $0.5\mu\text{m}$ の場合である。

30 【0070】このように主コアに無機材料を用い、主コアを高屈折率で薄いものにより小さなモードサイズの光導波路を形成でき、光導波路と半導体レーザのモード整合が容易になる。例えば、光導波路のスポットサイズを図7の線Aで取り囲んだ範囲に選ぶと、半導体レーザと光結合したときのモード不整合による結合損失を非常に小さなものとしてすることができる。

【0071】次に手段17は、図33、図34、図44、図45に例示するように、手段8、手段15または手段16のいずれかによる光導波路について、当光導波路を有機物の層と有機物の層の間に無機物の薄膜311を有する構造とするものである。

40 【0072】図33、図34、図44、図45の例ではコア302とアンダークラッド層301Aの間に無機材料よりなる薄膜311を有する。コア302に有機物を用いた場合には、プラズマエッチングによってコアを加工するが、図33、図34、図44、図45に例示するようにコア302とアンダークラッド層301Aの間に無機材料の薄膜311を形成すると、酸素プラズマエッチングでコア302を矩形に加工するとき、薄膜311でエッチングを停止させることができる。その結果、コアの加工の際のエッチング工程の管理が容易になり、エッチングが確実なものとなる効果を生ずる。

50 【0073】次に手段18は、例えば図46に例示するよう

に、手段2の光導波路に手段3～手段17のうちのいずれかのものを用いるものである。図46は、手段2の光結合装置を構成する光導波路に手段9または手段10の光導波路を用いるものである。

【0074】手段2を用いると左右方向の結合トレランスが広がるので左右方向に位置合わせが容易になる。さらに手段2に加えて、手段3～手段8のうちのいずれかを用いると、光導波路と他の光学部品との高さ方向の位置合わせが容易になる。その結果、手段2の光導波路と他の光学部品の位置合わせが容易になり、光結合効率の向上が容易になる。

【0075】さらに手段2に加えて、手段9～手段12、手段15及び手段16のうちのいずれかの手段を用いると、光導波路と光学部品とのモード整合を行うことができるので、結合効率が向上するようになる。

【0076】なお、手段2と手段3～手段8のうちのいずれかと、手段9～手段12、手段15及び手段16のうちのいずれかを組み合わせると、これらの効果が組み合わせられた光結合装置となることはいうまでもない。

【0077】次に手段19は、図27または図28に例示するように、手段2又は手段18において、基板160に透明でクラッド層301Aよりも低屈折率のものを用いるものである。このようにすると基板160を光導波路のクラッドとして用いることができる。そのため基板上のクラッド層301Aを任意の厚さにすることができる。そこで基板上のクラッド層の厚さ301Aを調節して光導波路の光軸を任意の高さに調節することが可能になる。その結果他の光部品との上下方向の光軸の位置合わせが容易になる。

【0078】次に手段20は、図8、図10、図11、図13～図16、図25、図26、図47に例示するように、手段3又は手段18又は19のいずれかにおいて、該光結合装置の光部品200を搭載する部分の周囲を導波路形成用部材(301、302等)で取り囲み、光部品200を搭載した部分を覆い且つこの周囲の導波路部材にかかるような蓋用部材で且つ光学部品200を搭載した部分の周囲の導波路部材と蓋用部材の間を気密化した蓋用部材400を用い、当蓋用部材400で当光部品200を搭載した部分に蓋をし、気密封止をしたものである。

【0079】本手段を用いると、光部品を簡単に気密封止できる。ここに、光導波路300は気密封止パッケージの周囲の壁と窓とを兼ねるものとなっている。周囲の壁と窓に別々のものを用いる場合に比べて製造が容易で小型になる効果がある。

【0080】手段21は、図47又は図49に例示するように、手段3、手段18又は手段19のいずれかの光結合装置(1あるいは1A)において、基板100に搭載した光部品200の周囲を導波路形成用部材501、503、504でリング状に取り囲み、電気配線部材500を、電気配線パターン502が当リング状導波路形成用部材501、503、504の外周部を貫通し、光部品200を搭載する部分303の周囲

の光導波路形成用部材の一部501の表面に接するように接着された構成とするものである。

【0081】気密封止された部分と外部とを結ぶ電気配線パターンを電気配線部材に形成するため、光導波路付基板の形成が容易になる。次に手段22は、図10に例示するように、手段20において、蓋用部材400が、光部品200を搭載する導波路形成用部材の一部303の周囲に沿って導波路部材の表面に被着されたリング状の金属部材304を介して光導波路の表面に接着され、光部品(200)を気密化したものである。蓋用部材を接着する部分を金属部材にすることによって、半田付けや溶接を行うことが容易になる効果が得られる。

【0082】次に手段23は、図46に示すように、手段21において、光導波路に手段19～12のいずれかのものを用い、少なくともリング状の金属部材の下に主コアと副コアとを有するものとしたものである。

【0083】光導波路が置かれる雰囲気は空気、不活性気体又は真空である。そのため屈折率1の媒質中に置かれているのと同じである。この場合、光導波路の光の閉じ込めが弱い場合には、電界の一部が導波路の上側に染み出すことになる。

【0084】ところで、電界が外部に染み出す導波路の場合、図10または46のように表面に金属部材304があると伝搬損失が大きくなる。光導波路の伝搬損失増加を抑制するためには、金属部材304が形成された部分の光の閉じ込めを強くする必要がある。そこで、本手段のように、リング状の金属部材304の下に主コア302Aと副コア302Bを有する手段10～手段12のいずれかの光導波路を用いると、この部分の光の閉じ込めが強くなり伝搬損失が低減される。

【発明の実施の形態】図8に本発明による光結合装置の第1の実施例を示す。本光結合装置1は、50 $\mu$ mのピッチで配列された15個の発光部を有するアレイ状の半導体レーザ200と、48 $\mu$ mのピッチで配列された15個のコア302を有するアレイ状の光導波路300を対向させたものである。光導波路300とボンディングパッド(図示せず)は基体である基板100の表面に形成されている。半導体レーザ200はアレイ状の発光部のうちの中央の発光部が光導波路300のアレイ状のコアのうちの中央のコアに一致する位置を目標として位置合わせされてボンディングパッドにボンディングされている。半導体レーザ200の、目標とする位置からの位置ずれは $\pm 15\mu$ m以下に抑えられている。

【0085】本実施例に用いた部材は、基板100は表面の面方位が{100}のシリコン単結晶基板、光導波路300は有機高分子導波路、ボンディングパッドは金属、半導体レーザ200は特開平7-66502及び1993年電子情報通信学会秋季大会講演論文集4-262に記載されたレーザ部と厚さに変化するコアを有するスポットサイズ変換導波路とをモノリシックに集積化したスポットサイズ変換導波路

付半導体レーザをアレイ化したものである。

【0086】シリコン基板100の表面には厚さ1 $\mu\text{m}$ のシリコン酸化膜101が形成され、この上に光導波路300とボンディングパッド（図示せず）とボンディングパッドに接続された配線パターン（図示せず）が形成されている。

【0087】光導波路300は、断面が5 $\mu\text{m}$ ×5 $\mu\text{m}$ 、屈折率が約1.558の矩形のコア302の周囲を屈折率1.55のクラッド層301で取り囲んだものである。コアの下側と上側のクラッド層の厚さはいずれも20 $\mu\text{m}$ である（以下、コアの下側のクラッド層をアンダークラッド層、コアの左右と上側のクラッド層をオーバークラッド層という）。

【0088】半導体レーザ200のそれぞれの発光部はBH構造の半導体光導波路となっており、発光部間のピッチは50 $\mu\text{m}$ である。BH構造のストライプの幅はレーザ部が約1.5 $\mu\text{m}$ でありスポットサイズ変換部はレーザ部から出力端に向かって約1.5 $\mu\text{m}$ から約4.91 $\mu\text{m}$ に変化している。半導体レーザ200の厚さ方向の層構造は、活性層への光の閉じ込め係数が5%になるようにレーザ部の層厚と屈折率が調節され、スポットサイズ変換部は同じ層構造でレーザ部から出力端に向かってコア部の厚さが徐々に薄くなっている。コア部の厚い部分と最も薄い部分の厚さの比は約2.5 : 1である。

【0089】本実施例による光導波路300と半導体レーザ200は、単体の光導波路と単体の半導体レーザを対向させて光結合させるとき、水平方向のみに着目すると、最大結合効率が約100%で、結合効率が90%に低下するときの位置ずれの大きさが約±1.15 $\mu\text{m}$ である。因みに、位置ずれが5 $\mu\text{m}$ のとき結合効率は約35%に低下する。

【0090】本実施例による光結合装置は、例えば、15個の半導体レーザを順次発光させて光導波路から出力される光強度を計測し、最も光出力が大きい導波路の出力端に光ファイバを結合するようにすれば、光ファイバ付の半導体レーザになる。光ファイバの位置合わせにはシリコンV溝等を用いることができるので、その位置合わせは容易である。

【0091】本実施例において、半導体レーザと光導波路の相対的位置を左右に変化させた場合の光結合効率の変化を図9に示す。図9において、“a”は半導体レーザと光導波路が（アレイではなく）単体のものである場合の結合効率、“b”は本実施例のように半導体レーザと光導波路がアレイである場合の結合効率である。なお、この場合のアレイの場合の結合効率は、複数組のうちのいずれかの半導体レーザと光導波路について、両者の相対位置が変化したとき、その変化に対応してその結合効率が最も大きくなる1対の組み合わせを順次選択し、その組み合わせにおける結合効率をグラフ化したものである。既に述べたように、光導波路と光ファイバの光結合

は比較的容易であるので、半導体レーザの出力光をいずれかの光導波路に結合させることができれば、半導体レーザと光ファイバの結合が容易にできるようになる。

【0092】図9に例示したように、半導体レーザと光導波路が（アレイではなく）単体のものである場合には位置ずれが約±1.15 $\mu\text{m}$ のとき結合効率が90%まで低下するのに対し、本実施例では90%以上の結合効率を維持する範囲が±15 $\mu\text{m}$ まで拡大された。その結果、本実施例による光結合装置を用い、半導体レーザが最も強く結合した光導波路に光ファイバを結合れば、従来のように光学的調整を伴う困難な位置合わせを行わずとも、比較的容易に半導体レーザの光を光ファイバに結合させることができる。

【0093】なお、本実施例に用いることのできる基板、光導波路の材料および半導体レーザは本実施例のもの（基板はシリコン、光導波路は高分子材料、半導体レーザはスポットサイズ変換導波路付きレーザ）に限られるものではない。基板には、例えば石英ガラスやその他のガラス及びセラミック等を用いることもできる。光導波路には、例えばシリコンの酸化物やシリコンの窒化物を主成分とする光導波路を用いることもできる。半導体レーザには通常の端面射出型の半導体レーザをアレイ化したものを用いることもできる。

【0094】次に、図10に、図8の第1の実施例を変形して光半導体素子を気密封止した第1の実施例の光結合装置の第1の変形実施例を示す。ここに図10(a)は気密封止のための蓋がされていない状態の斜視図、図10(b)は蓋をした後の光結合装置の斜視図で、蓋の一部を切り欠いて中が分かるようにしてある。

【0095】図10の実施例においては、シリコン基板100の表面にシリコン酸化膜（図示せず）を形成し、そのシリコン酸化膜の表面に電気配線パターン103と半導体レーザをボンディングするためのボンディングパッド102（図10においては、半導体レーザ200の下に隠されており見ることができない）を形成し、電気配線パターンの一部が光導波路の下になるように光導波路300を形成している。シリコン酸化膜（図示せず）は基板100と電極とを絶縁するためのものである。図10には明示されていないが、半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッドはアレイ状の半導体レーザのアレイの要素に対応して要素数だけあり、これらのボンディングパッドは各々独立して電気配線パターン103に接続されている。本実施例の光導波路300は屈折率が1.55のポリイミドによるクラッド層と屈折率が1.558のポリイミドによるコアにより形成されている。コアの断面の形状と寸法、クラッド層の厚さ及びコアのピッチは図8の実施例の場合と同じである。矩形のコアは酸素プラズマエッチングにより形成した。

【0096】光導波路300には、矩形の孔303が形成されている。この孔303の部分では基板100の表面と基板の表

面に形成されたボンディングパッド及び電気配線パターンが露出している。この孔は酸素プラズマエッチングにより形成した。

【0097】孔303の内側に露出したボンディングパッド102にはアレイ状の半導体レーザ200がボンディングされている。この半導体レーザ200は図8の実施例に用いたものである。半導体レーザ200は光導波路300のコア302の孔側に向いた端面に対向するようにボンディングされている。

【0098】光導波路の上側表面にはリング状の金属部材304が形成されている。このリング状の金属部材は蓋400を被着させるためのものであり金属の皮膜により形成されている。この金属皮膜は真空蒸着等により形成される。

【0099】次に、蓋400には図10(b)の下側の面から上側に向かって窪み401が形成されており、さらに窪みの外周の表面にはリング状の金属部材402が形成されている。このリング状の金属部材402は蓋を基板側のリング状の金属部材304に被着させるためのものである。

【0100】本図10の実施例では蓋400はセラミックにより形成されている。なお蓋400には金属、シリコンあるいはプラスチックを用いてもよい。蓋400に金属を用いる場合にはリング状の金属部材402は不要である。蓋400にシリコンあるいはプラスチックを用いる場合には、真空蒸着、メッキ、スパッタ等により表面に金属皮膜を形成すれば、インジウムや錫や半田等を用いて接着することが可能になる。蓋400にシリコンやセラミックなどの耐熱性の高いものを用いる場合にはスクリーン印刷の後焼結する方法又はリング状の金属板を低融点ガラスで張り合わせる方法等を用いることも可能である。また蓋にプラスチックを用いる場合には金属のリング402と304を無くし、高分子の接着剤を用いて光導波路300上に直接張り合わせてもよい。

【0101】リング状の金属部材304は、金属の板によって形成されている。この金属の板は例えばプレス等で打ち抜いたものを蓋に張り合わせて形成する。張り合わせるには高分子の接着剤あるいは低融点ガラス等を用いる。なお、スクリーン印刷により蓋400の表面にリング状の金属部材上に焼結材を含む金属のペーストを塗布し、これを焼結してもよい。さらに、真空蒸着、メッキ、スパッタ等により表面に金属皮膜を形成してもよい（この場合は必ずしもリング状でなくてもよい）。

【0102】リング状の金属部材304の表面に低融点の金属（例えばインジウム、錫あるいは金錫共晶合金等）を被着させ、これに蓋の表面のリング状の金属部材402を重ね合わせ、低融点金属を溶融させた後、常温に戻してリング状の金属部材304にリング状の金属部材402を固着させる。この結果、孔303の中の半導体レーザ200は気

密封止される。

【0103】本図10の実施例では、光導波路300にポリイミドを用いたので、ボンディングパッド102及び電気配線パターン103及び金属皮膜によるリング状の金属部材304を形成した後に光導波路300および光導波路の孔303を形成することが可能になった。ボンディングパッド102及び電気配線パターン103及び金属皮膜によるリング状の金属部材304を平坦な面上に形成することができるため、これらをフォトリソグラフィにより比較的容易に形成することができた。

【0104】さらに図8と同様に半導体レーザ200をボンディングする際に許容される位置ずれの大きさが $\pm 15 \mu\text{m}$ であるため、位置合わせも比較的容易であった。さらに、半導体レーザ200の気密封止も比較的簡単にすることができた。

【0105】図11は石英の光導波路を用いる場合の第1の実施例（図8）の第2の変形実施例を示すものである。図11(a)は蓋をする前、図11(b)は蓋をした後を示すものである。

【0106】石英の光導波路を形成するには、その行程で $1000^\circ\text{C}$ 以上の温度で熱処理を行う必要がある。そのため光導波路300を形成した後に電気配線パターン103を形成する。そのため本実施例では光導波路300層の上側の表面に電気配線パターン103が形成されている。本実施例の光導波路のクラッド301の屈折率は1.46、コアの大きさ $\Delta 1 \sim \Delta 11$ はそれぞれ $-10T_0$ 、 $-8T_0$ 、 $-6T_0$ 、 $-4T_0$ 、 $-2T_0$ 、 $0$ 、 $2T_0$ 、 $4T_0$ 、 $6T_0$ 、 $8T_0$ 、 $10T_0$ になる。ここに、左から右に向かう方向を正の方向とする座標系を用い、第2の光部品の光軸の座標位置から第1の光部品の座標位置を差し引いたものを位置ずれの大きさとした。

【0107】次に表1は、図1の第1の光部品を図1の状態を基準にして、右側に $-11T_0 \sim 11T_0$ の間の位置ずれを起こさせた場合の互いに対向する各要素部品間の光軸の位置ずれの大きさ $\Delta 1 \sim \Delta 11$ を記載したものである。表の左端の1列（縦方向）が位置ずれの大きさ、第2列～第12列がそれぞれ $\Delta 1 \sim \Delta 11$ の大きさを表している。

【0108】表から明らかなように、図1の状態を基準にして右側に $-11T_0 \sim 11T_0$ の位置ずれが生じると、 $\Delta 1 \sim \Delta 11$ のいずれか1カ所では位置ずれが $\pm T_0$ 以下になることがわかる。すなわち二つのアレイ状の光部品であって、それらの要素部品の配列ピッチが $2T_0$ だけ異なっており、共に11個の要素部品を含む二つのアレイ状の光部品を対向させることにより結合トレランスが $\pm 11T_0$ に拡大されることになる。

【0109】

【表1】

アレイ部品1 の上図の状態 からの位置 ずれの大きさ	位置ずれの大きさ ( $\Delta_1 \sim \Delta_{11}$ )										
	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$	$\Delta_5$	$\Delta_6$	$\Delta_7$	$\Delta_8$	$\Delta_9$	$\Delta_{10}$	$\Delta_{11}$
-11T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~T <sub>0</sub>			-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	-11T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	-13T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>				-21T <sub>0</sub> ~19T <sub>0</sub>
-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$			-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	-11T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>				-19T <sub>0</sub> ~17T <sub>0</sub>
-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$		-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>				-17T <sub>0</sub> ~15T <sub>0</sub>
-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>		$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~1T <sub>0</sub>	-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>				-15T <sub>0</sub> ~13T <sub>0</sub>
-3T <sub>0</sub> ~T <sub>0</sub>	7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>			$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~1T <sub>0</sub>	-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>				-13T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>
$\pm T_0$	9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>	7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>			T~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~1T <sub>0</sub>				-11T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>
T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	11T <sub>0</sub> ~13T <sub>0</sub>	9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>			3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$				-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>
3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	13T <sub>0</sub> ~15T <sub>0</sub>	11T <sub>0</sub> ~13T <sub>0</sub>			5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$			-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>
5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	15T <sub>0</sub> ~17T <sub>0</sub>	13T <sub>0</sub> ~15T <sub>0</sub>			7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>		$\pm T_0$		-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>
7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	17T <sub>0</sub> ~19T <sub>0</sub>	15T <sub>0</sub> ~17T <sub>0</sub>			9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>	7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>			$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~1T <sub>0</sub>
9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>	19T <sub>0</sub> ~21T <sub>0</sub>	17T <sub>0</sub> ~19T <sub>0</sub>			11T <sub>0</sub> ~13T <sub>0</sub>	9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>	7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>				$\pm T_0$

【0110】一般的には、アレイ状の光部品の要素部品の数をNにすると結合トレランスはN倍に拡大する。このように、手段1を用いることにより結合トレランスが拡大され位置合わせが容易になる。

【0111】具体的な数値で示すと、例えば、図1において、第1の光部品200Xに半導体レーザアレイを用い第2の光部品300Xに光ファイバアレイを用い、要素部品間の結合トレランスを $\pm 1 \mu\text{m}$ とした場合には、結合トレランスは全体では $\pm 11 \mu\text{m}$ まで拡大される。

【0112】半導体チップをボンディングするのに用いる一般的なボンディング装置はその位置ずれ誤差は $\pm 5 \mu\text{m}$ 以下である。そのため光部品をボンディングする場合、結合トレランスが $\pm 5 \mu\text{m}$ 以上になればその位置合わせが非常に容易になる。

【0113】さらに、手段1においてはアレイ状の光部品を用いるため、光部品が長いものとなる。そのため、紙面に垂直な軸を回転中心とする方向の回転誤差の検出が容易になり、回転誤差が低減される。即ち、光半導体素子の場合、寸法が小さいため、単体の場合には上記方向の回転誤差の検出が困難になるが、アレイにすることによりその検出が容易になり、回転誤差が低減される。

【0114】このように、手段1を用いると、半導体レーザの位置合わせ精度が緩和されるとともに回転方向のずれの検出精度が向上し、位置合わせが簡単になる。手段2は図8、図10、図11、図13~図18、図20~図27、図29、図31、図33、図35、図46、図47及び図49(c)に例示するように、手段1において少なくとも一方の光部品を光導波路アレイ(300)にするものである。

【0115】例えば図8に例示するように光部品に光導波路(300)を用いると、ピッチの変更及びピッチを小さくすることが容易になる等の利点がある。さらに、アレイ状の光部品の要素部品のピッチを小さくすると小型化が可能になる利点もある。逆にサイズが同じであればアレイに含まれる要素部品の数を増やすことができ、結合トレランスを大きくする。

【0116】以下、第2の光部品に光導波路を用いるこ

とにより、要素部品間のピッチの変更およびピッチを小さくすることが容易になる理由を説明する。光導波路のコアパターンはフォトリソグラフィプロセスでガラスマスク上のパターンを転写することにより形成される。そのためガラスマスクのピッチを変更して容易に導波路のピッチを変更することができる。

【0117】次に、導波路は、そのコアサイズを、例えば $10 \mu\text{m}$ 以下に小さくすることが容易である。更にコアの形成にフォトリソグラフィプロセスを用いるので、ピッチを変更することのみでなく、ピッチを小さくすることも容易になる。例えば他の光部品として光ファイバの場合を考えると、光ファイバアレイの場合には、そのピッチを光ファイバの直径(通常 $125 \mu\text{m}$ )より小さくすることは不可能である。しかし、光導波路は、そのピッチを $10 \mu\text{m}$ 以下にすることは極めて容易である。

【0118】更に光導波路を用いると、図37、図38(c)、図39、図40に例示するように、光導波路でスポットサイズ変換を行うことが可能になる。図38(c)に例示するように、光導波路300でスポットサイズ変換を行うと導波路の一方と他方にモードサイズが異なる光部品(図38(c)においては半導体レーザ200と光ファイバ3)を配置する場合においても、その両方でモード整合を行うことが可能になる。これについては手段9~手段12の説明でより詳しく述べる。

【0119】更に、図10、図11、図25、図26、図47に例示するように、光導波路300を、封止用の部材及び窓部材の両方を兼用する部材として用い、光半導体素子200の気密封止をすることができる。これについては手段20の説明で詳しく述べる。

【0120】以上述べた手段1と手段2は、光部品が搭載される基体の表面に平行な方向(以下これを左右方向という)について結合トレランスを拡大し、位置合わせを容易にするものである。これに対し、手段3~手段7は、光部品が搭載される基体の表面とは垂直な方向(以下これを上下方向という)について位置合わせを容易にすることを目的とするものである。手段3~手段7は、



特に、光導波路の層方向の構造を改良して上下方向の光軸の位置合わせを容易にするものである。以下、手段3～7について説明する。

【0121】まず手段3の作用を説明する。手段3は図35、図47、図49(c)に例示するように、光部品と光導波路とを対向させる場合に、基板(100)の一部に窪み(106)を形成し、この窪みに少なくともクラッド層(301)の1部分(301)、あるいはクラッド層(301)と同じ屈折率かあるいはクラッド層(301)よりも低屈折率のバッファ層(310)を埋め込んだ構成を有する光導波路300を用い、光部品(200)を基板の窪みの無い部分の表面に搭載するものである。本手段による光導波路300は、例えば図35、図36、図47に例示するように、基板100に形成した窪み106に、バッファ層310あるいは光導波路300のクラッド層の一部301が埋め込まれた構造となっている。ここにバッファ層310は、その屈折率がクラッド層301、301A、301Bと同じかあるいはクラッド層より小さいものである。そして、クラッド層301A、301の一部が、基板100の表面より高くなるように形成され、次いでコア302と上側のクラッド層301A、301が形成されている。さらに、図35、図36、図47の例では、光部品200は窪みの無い部分にボンディングされている。

【0122】図35、図36、図47に例示するように、手段3を用い、窪み106に埋め込まれたバッファ層310またはクラッド層301を十分厚くすると光の基板100への放射が低減されるようになる。そしてコア302の下側のクラッド層301のうち基板表面から飛び出した部分のクラッド層301A及び301の厚さとコア302の厚さを調節すると基板表面からみたコア302の中心の高さを精密に調節でき、更に基板表面からみたコア302の中心の高さを5～6 $\mu\text{m}$ にして基板100にボンディングされた半導体レーザ200の光軸高さに一致させることができる。よって上下方向の光軸の位置合わせも容易になる。その結果本手段(手段3)と手段1とを組み合わせると、左右方向と上下方向の両方の光軸の位置合わせが容易になる。次に手段4は、図29～図36、図47、図49(c)に例示するように、光部品と光導波路とを対向させる場合に、該光導波路(300)にクラッド層(301)よりも低屈折率のバッファ層(310)の上にクラッド層(301)とコア(302)を形成したものをを用いるようにするものであり、コアの下側のクラッド層(以下、これをアンダークラッド層と言う)を薄くして、光導波路作成時の製造誤差に起因する光導波路の光軸の高さ誤差を小さくしようとするものである。

【0123】例えば、図29～図32に例示するように、基板100とアンダークラッド層301Aの間にアンダークラッド層よりも低屈折率のバッファ層310を加えると導波路300のコア302にガイドされた電界分布のうち、アンダークラッド層301Aおよびバッファ層310に染みだした裾の部分の減衰が大きくなる。そのため、バッファ層310とアンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くしても基板

100に放射される光パワーを小さくすることが可能になる。その結果、バッファ層310とアンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くすることが可能になる。このようにバッファ層310とアンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くしても基板100に放射される光パワーの増加が起こらない。その結果、バッファ層310とアンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くすることが可能となる。

【0124】バッファ層310とアンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くすると、製造時の寸法誤差の絶対値が小さくなり、光軸の高さのずれが小さくなる。例えば図2のような構造の導波路と図4のような構造の導波路を比較し、本手段の作用を具体的に説明する。

【0125】まず、図2は従来の導波路の層構造に相当するスラブ構造導波路を例示するものである。ここに図2(a)は層構造を、図2(b)は図2(a)の点線Y-Y'に沿った屈折率分布を示すものである。また、301Aと301Bはクラッド層、302はコア層である。

【0126】このような屈折率分布を有するスラブ構造の導波路クラッド層301A、301Bの屈折率が1.55、コア302の屈折率が1.558、コア302の厚さが5 $\mu\text{m}$ のとき、電界強度が十分小さいもの(具体的には電界強度が最大値の $10^{-6}$ になる場合について比較する。)となるのは、コア302の下側の端から約28 $\mu\text{m}$ 離れた位置になる。そのときの電界分布は図3の(a)に示す通りであり、点P1は電界強度が最大値の $10^{-6}$ になる位置である。なお図3において(b)は屈折率分布を示すもので、縦軸の目盛りは任意である。

【0127】これに対し、光導波路の層構造を図4のようにバッファ層310を有するものとした場合の電界分布を図5に示す。ここに、図4(a)は層構造を、図4(b)は図4(a)の点線Y-Y'に沿った屈折率分布を示すもの、図5の(a)は図4の光導波路にガイドされる光の電界分布、図5の(b)は光導波路の屈折率分布(縦軸の目盛りは任意)である。また、図4において、301Aはアンダークラッド層、301Bはオーバークラッド層、302はコア層、310はバッファ層である。

【0128】図4の光導波路において、アンダークラッド層の厚さを2 $\mu\text{m}$ 、バッファ層を石英(屈折率は1.46)にした場合には、図5に示した電界分布の裾の部分の電界強度が図3のP1と同じになるのは、バッファ層310とアンダークラッド層301Aとの境界から5.2 $\mu\text{m}$ 離れた位置(P1で指示)になる。

【0129】このように、光導波路を、アンダークラッド層301Aの下にアンダークラッド層より低屈折率のバッファ層310を有するものとするにより、バッファ層310における電界強度の減衰を急峻にすることができる。

【0130】以上のことは図29～図32に例示する光導波路にも当てはまり、光導波路を図29～図32に例示するような構造にすると、バッファ層310に染み出す光の電界の強度が低下し、基板100への光パワーの放射が起こり

難くなる。その結果、バッファ層310とアンダークラッド層310Aを加えた層の厚さを小さくすることができる。その結果、光導波路の製造誤差に起因する光軸の高さ誤差が低減され、位置合わせ精度が向上する。

【0131】次に手段5は、図31～図34に例示するように、光部品と光導波路とを対向させる場合に、該導波路にクラッド層(301)と同じ屈折率かあるいはクラッド層(301)よりも低屈折率のバッファ層(310)の上にクラッド層(301)とコア(302)を形成したものをを用い、光部品(200)をバッファ層(310)の上に搭載するのである。本手段(手段5)による光結合装置は、図31～図34に具体例を示すように、光導波路300と基板100の間に、光導波路の少なくとも一方の端面から飛び出すように形成されたバッファ層310を有する。ここに、バッファ層310は屈折率がアンダークラッド層301Aと同じかあるいはアンダークラッド層301Aより低屈折率の層である。このような光導波路を用いると、例えば、バッファ層310の光導波路の端面から飛び出した部分の上面に光部品200を定接すれば、実効的に光導波路の光軸が低くなるので、光導波路300と光部品200の高さ調節が容易になる。更に、アンダークラッド層301Aの厚さを調節して光導波路の光軸高さを調節すると、光部品と光導波路の光軸高さを精密に調節することができるようになる。

【0132】次に手段6は、図31～図34に例示するように、手段5を用いる光結合装置の光導波路のバッファ層310を無機材料(シリコンの酸化物、シリコンの窒化物、ガラスなど)にし、アンダークラッド層301Aとコア302とオーバークラッド層301Bを有機材料(ポリイミドなど)とするものである。

【0133】光導波路のクラッド301A、301Bとコア302を構成する層を有機物にすると、光導波路を形成する前に、バッファ層310の表面に、電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することが可能になる。即ち、光導波路の材料が有機物の場合には、比較的低温で、塗布工程等を用いて導波路形成を行うことができる。

【0134】光導波路を形成する前のバッファ層310の表面は平坦なので、フォトリソグラフィ工程を用いて、容易に精密な電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することができるようになる。そのため光導波路とボンディングパッドの相対的な位置合わせが容易になる。

【0135】光導波路を有機材料にすることにより、導波路の形成に酸素プラズマエッチングを用いることができる。そして、光導波路の端面の形成に酸素プラズマエッチングを用いたとき、バッファ層310の部分でエッチングが停止するため、図31または図32に例示するような光導波路の端面から飛び出したバッファ層310の形成が容易になる。

【0136】次に手段7は、図33又は図34に例示するよ

うに、手段5を用いる光結合装置の光導波路のバッファ層(301)及びコアの下側のクラッド層(301A)より上の層(301A、302、301B)を有機材料で構成し、バッファ層(301)とコアの下側のクラッド層(301A)の間に無機材料の薄膜(311)を挟み込むものである。

【0137】光導波路のクラッド301A、301Bとコア302を構成する層を有機物にすると、光導波路を形成する前に、薄膜311の表面に、電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することが可能になる。即ち、光導波路の材料が有機物の場合には、比較的低温で、塗布工程等を用いて導波路形成を行うことができる。

【0138】光導波路を形成する前の薄膜311の表面は平坦なので、フォトリソグラフィ工程を用いて、容易に精密な電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することができる。そのため光導波路とボンディングパッドの相対的な位置合わせが容易になる。

【0139】光導波路を有機材料にすることにより、導波路の形成に酸素プラズマエッチングを用いることができる。そして無機材料の薄膜311があれば、光導波路の端面の形成に酸素プラズマエッチングを用いたとき、薄膜311の部分でエッチングが停止するため、図33または図34に例示するような光導波路の端面から飛び出したバッファ層310の形成が容易になる。302の屈折率は1.4673、コア302の断面は $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ の矩形、アンダークラッド301とオーバークラッド301の厚さは $30\mu\text{m}$ である。

【0140】光導波路に形成した孔303の中に配線パターン(図示せず)とボンディングパッド(半導体レーザにより隠されている)を形成し、図8の実施例と同じ半導体レーザ200をボンディングパッドにボンディングしている。本実施例では光導波路を形成し、光導波路の孔303を形成した後でボンディングパッドを形成した。すなわち孔303と光導波路の境界による段差がある基板上にフォトリソグラフィプロセスを施しボンディングパッドを形成することになる。このためボンディングパッドの位置ずれが大きくなり易い。しかし、本実施例のボンディングパッドの位置ずれ( $\pm 5\mu\text{m}$ 以下)は半導体レーザ結合トレランス( $\pm 15\mu\text{m}$ )に比べて十分小さいため、問題とはならない。セラミック製の蓋400をエポキシ樹脂によるリング304を介して接着し、半導体レーザを気密封止している。本実施例においても、半導体レーザの位置合わせが及び気密封止が容易にできる。

【0141】なお、図10及び図11の実施例による光結合装置1は気密封止のため蓋をしても小型になる特徴がある。例えば $2\text{mm}\times 2\text{mm}\times 1\text{mm}$ 以下にすることも可能である。熱容量が小さくなるので、気密封止後の光結合装置1をペルチェ素子等の上に接着し温度調節をすることも容易になる。

【0142】次に図12～図16に、図10あるいは図11の第1の実施例の第1及び第2の変形実施例により気密封止された光結合装置(以下図12～図16の説明において、図

8、図10あるいは図11のような光結合装置を記号1で、それを一部変形したものを記号1Aで示す)に光ファイバを接続する実施例を示す。本実施例においてはまず、最も光出力が大きい光導波路を選択する。図12は、図10の実施例により半導体レーザ200を搭載し気密封止した光結合装置1について、光出力が最も大きい光導波路のコア302を選択する方法を例示するものである。

【0143】図12の光ファイバ接続実施例においては、受光部の直径が2mmのフォトダイオード2を用い、光結合装置1の光導波路300の各コア302から出力される光強度を計測する。フォトダイオード2の受光面のサイズが光導波路300のコア302が並んでいるアレイの端から端までの幅(約0.7mm)に比べて十分大きいので、フォトダイオード2を光導波路300の前方のほぼ中央に配置すれば、全てのコア302から出力する光を計測することができる。電極103から順次半導体レーザ200のアレイの要素に一定の電流を供給し、そのときの光出力を測定して光出力が最大になる一つの光導波路を選択することができる。

【0144】図13～図16は、図10に例示された第1の変形実施例における光結合装置1Aと光ファイバ3の光結合を行う光ファイバ結合実施説明図を示すものである。まず図13(a)及び(b)は、突起111(以下この突起をレールという)を有する共通基板110と、レール111に嵌合する溝122(以下このレール111に嵌合する溝122をレール嵌合溝という)を裏面に形成し、当レール嵌合溝を裏面に形成した光ファイバ搭載基板120と、裏面にレール111に嵌合する溝104(以下、これもレール嵌合溝という)を形成した基板100Aを有する光結合装置1Aを示す。なお光結合装置1Aは、図10の実施例による光結合装置1の基板100に、レール嵌合溝104を形成するという変形を加えたものである。このような光結合装置1Aと光ファイバ搭載基板120のレール嵌合溝122及び104を共通基板110上のレール111に嵌合させて位置合わせをし、光結合している。

【0145】共通基板110には表面の面方位が{100}のシリコン基板を用いている。このシリコン基板の表面に熱酸化膜(図示せず)を形成し、次いでフォトリソグラフィとエッチング工程により所定のパターンを熱酸化膜によるエッチング用マスクを形成し(図示せず)、次いで強アルカリのエッチング液を用いてウェットエッチングする工程(この工程を異方性エッチングという)を用いてレール111を形成している。このレール111を形成する場合には、<110>方向に伸びるストライプ状の熱酸化膜によるエッチング用マスクパターン(図示せず)が用いられる。

【0146】図13の光結合装置1Aの基板100A及びファイバ搭載基板120も表面の面方位が{100}のシリコン基板であり、レール嵌合溝104と122も異方性エッチングにより形成されたものである。レール嵌合溝104と122は、

そのエッチング用マスクを形成する際に両面マスク合わせ装置を用い、それぞれ光導波路300のコア302のパターン及び光ファイバガイド溝121との相対位置が一定になるように形成されている。光ファイバガイド溝121に載置した光ファイバ3が、図12の実施例により選択された光導波路のコア302に対向するように光ファイバガイド溝121を形成し、これに光ファイバ3を載置し、光結合している。本方法を用いると、光ファイバ3の位置合わせが極めて容易になる。

10 【0147】図14は、図13に示した光結合装置と光ファイバを光結合することに更に工夫を加えた光結合装置の第2の実施説明図であり、図13の第1の実施説明図の一部を変形したものである。図14による第2の実施例は、図13の第1の実施例の共通基板110のレールのサイズを比較的小さいものとし、光結合装置1Aおよび光ファイバ搭載基板120それぞれのレール嵌合溝104(光ファイバ搭載基板120に隠れて図14には図示していない)及び122を複数にし、且つレール嵌合溝104、122のピッチを光導波路のコア302のピッチと同じにしたものである。

20 【0148】このようにすると、レール111に嵌合するレール嵌合溝104、122を選択することにより光ファイバ3に結合する光導波路のコア302を選択できるようになる。本実施例では、光ファイバ3が、例えば図12の実施例により選択された光導波路のコアに対向するものとなるようにレール嵌合溝104、122を選択し、レール111に嵌合させる。

30 【0149】なお、図14にはレール111が1対(2本)のものが例示されているが、複数対のレールを形成してもよい。その場合は一つの対のレールと他の対のレールの間隔が光導波路のコアのピッチに等しくなるようにする。

【0150】図15は、光結合装置と光ファイバを光結合するために工夫を加えた光結合装置の第3の実施説明図で図13の第1の実施説明図の一部を変形したものである。本実施例は、図13の第1の実施説明図におけるファイバ搭載基板120の表面に、光導波路のコア302(図12参照)のピッチと同じピッチの凹凸を有する周期的凹凸123を形成し、その凹凸123に嵌合する周期的凹凸132と、光ファイバ3を嵌合させる溝131(以下この「ファイバを嵌合させる溝131」を「光ファイバ押接溝131」という)を有する部材130で光ファイバ3をコア302(図12参照)に押接するものである(以下この「光ファイバを押接する部材130」を「光ファイバ押接部材130」という)。光ファイバ搭載基板120の表面の周期的凹凸123は、基板120を異方性エッチングすることによって形成される。さらに、光ファイバ押接部材130にも表面が{100}のシリコン基板が用いられており、光ファイバ押接溝131と光ファイバ押接部材の両サイドの周期的凹凸132も異方性エッチングによって形成されたものである。

50 【0151】本第3の実施説明図によれば、光ファイバ

押接部材130を左右に移動させて、光ファイバ3と光結合する光導波路のコア302を選択することができる。そのため、光ファイバ3に結合すべき光導波路のコア302の選択の自由度が向上する。

【0152】図16は、光結合装置と光ファイバを光結合するために工夫を加えた光結合装置の第4の実施説明図であって、図15の第3の実施説明図の一部を变形したものである。本実施例は、図15の第3の実施説明図のファイバ搭載基板120のレール嵌合溝122のうち同時にレール111に嵌合するものを1組として、複数のレール嵌合溝122を形成したものである。ここに複数組のレール嵌合溝122はその組内の二つはサイズが同じで、異なる組の間ではサイズが異なるものとして形成されている。またレール嵌合溝122は、その組と組の間のピッチが、光ファイバ搭載基板120の表面の周期的凹凸123の間隔の正数倍になるように形成されている。

【0153】本第4の実施説明図によれば、複数組のレール嵌合溝122のうちの1組を選択して光ファイバ3の光軸の高さを調節することができる。従ってレール111に嵌合したとき、光導波路のコア302と光ファイバ3の光軸の高さにずれが合った場合でも、これを補正することが可能になる。さらに、本実施例では、図15の実施例と同様に、光ファイバ押接部材130を左右に移動させることにより光ファイバ3と光結合する光導波路のコア302を選択することもできる。従って、まず、高さの調節のためにレール嵌合溝122を選択し、次いで光ファイバ押接部材130を左右に移動させて光ファイバ3と結合する光導波路のコア302を選択することができる。

【0154】以上は光ファイバ3の左右の位置調節を扱った実施例であるが、一方光ファイバ3の光軸の高さを調節する必要がある。即ち、光導波路のコア302の光軸の高さととの誤差をなくすることにより光結合効率が更に向上する。

【0155】図17～図24は第1の実施例（図8）の变形実施例を示すものである。まず図17は、図8の第1の実施例の基板100の代わりに、図17(b)に示すように、二つの基板130と基板140を用い、半導体レーザ200を基板130に搭載し、光導波路300を基板140に搭載する第3の变形実施例を示す図である。ここに図17(a)に半導体レーザ200を搭載すべき基板130の構成を例示し、図17(b)に半導体レーザと光導波路が搭載された基板130、140を共通基板110上に配列して、両者を光結合するための構成を示す。

【0156】半導体レーザ200と光導波路300を搭載した基板130、140を配列するために、基板130と基板140の裏面にレール嵌合溝134、141を形成し、そのレール嵌合溝を、第3の基板である共通基板110のレール111に嵌合させている。

【0157】本実施例を用いると、レール嵌合溝134、141のサイズを調節して半導体レーザ200と光導波路300の

光軸の高さを調節することができるようになる。そのため両者の光軸の高さを一致させることが容易になる。また、半導体レーザ200をボンディングするための基板130の製造と光導波路300とを別々に独立して製造することが可能になる利点がある。例えば、光導波路300の製造に高温プロセスが必要な場合でも、半導体レーザ200を搭載するための基板130には何ら影響を及ぼさないで済む。なお、本実施例の光結合装置に、図14～図16に示す光ファイバ搭載基板を組み合わせると、光ファイバと光結合することが可能になる。

【0158】図18は図8の第1の実施例の第4の变形実施例を示すもので、図14に示した第2の実施説明図における光導波路のコア302のパターンを变形したものである。本実施例では、光導波路のコアのピッチが、半導体レーザと対向する側は図8の場合と同じであるが、その反対側は250 $\mu$ mに広げられている。このようにすると、後に説明するように光ファイバとの結合が容易になる効果を生ずる（以下図19～図21の説明において図18の光結合装置を光結合装置1で示し、これを变形したものを光結合装置1Aで示す）。

【0159】図19は図18の第4の变形実施例の光結合装置1について、光ファイバ3と結合すべき光導波路300のコア302を選択する方法の一つを例示するものである。本実施例は、図19の光導波路300の左側端面に、各々のコア302に対応させてアレイ状のフォトダイオード2を対向させた構成を用いるものである。その他に、半導体レーザ200のアレイ要素に順次電流を供給するレーザ駆動装置21と、フォトダイオード2の電流を測定する装置（電流測定装置）22を具備して構成される。

【0160】レーザ駆動装置21による半導体レーザ200のアレイ要素の選択に同期してフォトダイオード2の出力電流を計測し、その電流が最大になる半導体レーザ200のアレイ要素と光導波路のコア302とを選択し、その導波路のコア302に光ファイバ3を結合する。

【0161】図20は図18の第4の变形実施例による光結合装置1について、図19の実施例により選択された光導波路300のコア302に光ファイバ3を結合する一つの構成を例示するためのものである。基本的には、図13の実施例と同じように、図18の光結合装置1にレール嵌合溝104を形成したもの（光結合装置1A）を用い、この光結合装置1Aに形成したレール嵌合溝104と光ファイバ搭載基板120に形成したレール嵌合溝122を共通基板110のレール111に嵌合させ配列したものである。

【0162】本実施例では光導波路のコア302のピッチを250 $\mu$ mに広げ、光ファイバ搭載基板120に複数のファイバガイド溝121を形成したので、どの光導波路のコアに対しても光ファイバ3を結合することが可能になった。そのため、本構造を用いれば、光ファイバ3と結合すべきコア302がどれであっても、共通の光ファイバ搭載基板120で光結合することができる。

【0163】図21は図18の第4の変形実施例による光結合装置1に光ファイバ3を結合する他の構成を例示するものである。本例では、全ての光ファイバガイド溝121にそれぞれ光ファイバ3を搭載している。そしてすべての光ファイバ3の出力を計測し、光出力が最大のものを選択する。本実施例を用いれば、図25に例示するようなコアを選択する工程が不要となる。本実施例は、図25に例示したようなコアを選択する工程にかかるコストが多数の光ファイバを搭載するコストより大きい場合に、光結合装置と光ファイバとの結合に要する総合コストを削減することができる。

【0164】図22は、図20の実施例を変形したもので、基板に、図20の実施例における基板100Aと光ファイバ搭載基板120を一体化した基板150を用いるものである。基板が一体化されるため、基板間の位置合わせが不要になる。

【0165】図23と図24は、図22の実施例の場合とは逆に、図21の基板100Aを半導体レーザを搭載するための基板130と光導波路付基板140の二つの基板に分割したものである。本実施例を用いると、図21の実施例の利点の他に、図17の実施例と同様に、半導体レーザ200と光導波路300の相対高さの調節が容易になるという利点がある。

【0166】図25は図18の第4の変形実施例に図10の第1の変形実施例を適用する例を示すものである。図25に例示するように、図18の変形例による光結合装置1に対しても、光導波路300に孔303を形成し、半導体レーザ200を孔の中に入れてボンディングし、蓋400をすることにより気密封止することができる。なお、図25には気密封止に関する部分の構成および製造方法を詳細には示していないが、本実施例における気密封止に関する部分の構成および製造方法及び蓋400の構成は、図10の実施例と同じである。

【0167】図26は図22の実施例に図10の実施例を適用する例を示すものである。即ち、図22の実施例による光結合装置1に対して光導波路300に孔303を形成し、半導体レーザ200を孔303の中に入れてボンディングし、蓋400をすることにより気密封止することができる。なお、図26には気密封止に関する部分の構成および製造方法を詳細には示していないが、本実施例における気密封止に関する部分の構成および製造方法及び蓋400の構成は、図10の実施例と同じである。

【0168】次に、図27～図36は、半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例1～10を示すものである。図27は高さ方向の光軸合わせが容易な光結合装置の例1で、基板に石英基板160を用い、その上にアンダークラッド層301Aとコア302とオーバークラッド層301Bを形成した光導波路300を用いるものである。基板160の屈折率は約1.46、アンダークラッド層301Aとオーバークラッド層301Bの屈折率は1.55、

クラッド301A、301Bとコア302の比屈折率差は0.5%である（コア301A及び301Bとクラッド302には図10の実施例の光導波路と同じポリイミドを使用）。

【0169】本実施例では、基板160の屈折率が小さいのでアンダークラッド層301Aを薄くし、その厚さを調節して光導波路300のコア302の高さの調節を行うことができる。具体的にはアンダークラッド層301Aの厚さを4 $\mu$ m、コアの厚さを5 $\mu$ mにすれば、コアの中心の高さ（この場合には6.5 $\mu$ m）を半導体レーザ200の光軸の高さ（5.32～9.32 $\mu$ m）に一致させることができる。

【0170】この場合、光導波路の光軸の高さが低い（この場合には6.5 $\mu$ m）ので、アンダークラッド層301A及びコア302の厚さに±5%の誤差が生じた場合でも、光軸の高さ誤差（具体的には±0.4 $\mu$ m未満）は小さいものとなる。この場合の高さ誤差は、具体的には±0.4 $\mu$ m以下であり、本実施例の結合系において許される位置ずれの大きさ（具体的には±1 $\mu$ m）より小さいものとなる。したがって、製造誤差がある場合でも、所定の結合効率を得られる。なお、本実施例の適用範囲は図27のようなアレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。図28の例2に示すように単体の半導体レーザ200と単体の光導波路300の光結合においても、光軸の高さを一致させるのに有効になる。

【0171】図29は高さ方向の光軸合わせが容易な光結合装置の例3で、基板100にシリコン基板を用い、その上に熱酸化膜（図示せず）を形成し、その上にバッファ層310を形成し、さらに、その上にアンダークラッド層301Aとコア302とオーバークラッド層301Bよりなる光導波路300を形成したものである。ここに、半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッド（図では見えず）及び電気配線用のパターン（図示せず）は、シリコン基板100の表面の熱酸化膜（図示せず）上に形成されている。熱酸化膜はシリコン基板100を熱酸化したものであり、その厚さは2 $\mu$ mである。本実施例においても、熱酸化膜101（図29には記載せず）は、図8に例示するように、基板100の上側の表面全体を覆っている。

【0172】図29の本実施例において、バッファ層310はシリコンの酸化物によって形成されるものである。熱CVDにより3.2 $\mu$ mのシリコン酸化物の層（これがバッファ層310になる）を厚さ2 $\mu$ mの熱酸化膜（図示せず）上に形成したものがバッファ層310付の基板となる。

【0173】光導波路300はアンダークラッド層301A及びアッパークラッド層301Bの屈折率が1.55、クラッド層301A又は301Bとコア302の比屈折率差が0.5%、コア302の断面のサイズが6 $\mu$ m×6 $\mu$ mである。アンダークラッド層301Aの厚さは約2 $\mu$ mである。

【0174】本実施例では、アンダークラッド層301Aより低屈折率のバッファ層310があるため、図5に例示したよ

うに、基板側に伸びる電界はその強度が急激に減衰する。そのため、アンダークラッド301Aが薄い場合でも光の基板放射が低減される。

【0175】さらに、本実施例によれば、バッファ層310とアンダークラッド層301Aの厚さとコア302の厚さの2分の1を加えた厚さ（ $8.2\mu\text{m}$ ）を半導体レーザの光軸高さ（ $5.32\sim 9.32\mu\text{m}$ ）に等しくすることが可能になる。またその全体の厚さの絶対値が小さいので、高さ誤差が小さくなる。そのため半導体レーザ200と光導波路300の光軸の高さ合わせが容易になる。さらに、基板100にシリコン基板を用いているので、異方性エッチングで例えば図13の実施例に示すようなレール嵌合溝104を形成し、光ファイバ3と結合することが可能になる。

【0176】なお、本実施例の適用範囲は図29のようなアレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。図30は高さ方向の光軸合わせが容易な光結合装置の例4で、図30に例示するように単体の半導体レーザ200と単体の光導波路300の光結合においても、光軸の高さを一致させるのに有効である。

【0177】図31は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例5にて、基板100にシリコン基板を用い、その上にバッファ層310（材料はシリコンの酸化物、厚さは $5\mu\text{m}$ ）を形成し、その上にアンダークラッド層301A（厚さ $3.5\mu\text{m}$ 、屈折率1.55のポリイミド）とコア302（比屈折率差0.5%、 $6\mu\text{m}\times 6\mu\text{m}$ の断面サイズを有するポリイミド）とオーバークラッド層301B（厚さ $3.5\mu\text{m}$ 、屈折率1.55のポリイミド）よりなる光導波路300を形成したものである。ここに、半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッド（図では見えず）及び電気配線用のパターン（図示せず）は、バッファ層310の上に形成されている。

【0178】本実施例において、バッファ層310はシリコンの酸化物によって形成される。バッファ層310は、シリコン基板100を熱酸化して $2\mu\text{m}$ の熱酸化膜を形成し、次いで熱CVDにより $3\mu\text{m}$ のシリコン酸化物を堆積し形成した。

【0179】本実施例においても、アンダークラッド301Aより低屈折率のバッファ層310のため、図5に例示したように、基板側に伸びる電界はその強度が急激に減衰する。そのため、アンダークラッド301Aが薄い場合でも光の基板放射が低減される。

【0180】さらに、本実施例によれば、バッファ層310とアンダークラッド301Aの厚さとコア302の厚さの2分の1を加えた厚さ（ $6.5\mu\text{m}$ ）を半導体レーザ200の光軸高さ（ $5.32\sim 9.32\mu\text{m}$ ）に等しくすることが可能になる。またその全体の厚さの絶対値が小さいので、高さ誤差が小さくなる。そのため半導体レーザ200と光導波路300の光軸の高さ合わせが容易になる。

【0181】さらにまた、基板100にシリコン基板を用

いているので、異方性エッチングで例えば図13の実施例に示すようなレール嵌合溝104を形成し、光ファイバ3と結合することが可能になる。なお、本実施例の適用範囲は図31のようなアレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。

図32は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例6にて、図32に示すように単体の半導体レーザ200と単体のコアを有する光導波路300の光結合においても、光軸の高さを一致させるために用いることができる。

図33は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例7にて、基板100にシリコン基板を用い、その上に厚さ $20\mu\text{m}$ のポリイミドのバッファ層310を形成し、その上にシリコン窒化膜311を形成し、その上にポリイミドのアンダークラッド層301Aとポリイミドのコア302とポリイミドのオーバークラッド層301Bよりなる光導波路300を形成したものである。ここに、半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッド（図では見えず）及び電気配線用のパターン（図示せず）は、シリコン窒化膜311の上に形成されている。本実施例におい

て、バッファ層310はアンダークラッド層301Aに用いるものと同じ組成のポリイミドであり、光導波路を構成するクラッド層301A、301Bとコア302の材料と寸法は図31の実施例のものと同じである。シリコン窒化膜311はプラズマCVDで形成したものでその厚さは約 $200\text{nm}$ である。なおバッファ層310は光導波路のクラッド層301A及び301Bより屈折率が小さいものであってもよい。本実施例によっても図31の実施例と同じ効果が得られる。

【0182】なお、本実施例の適用範囲は図33のようなアレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。図34は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例8にて、図34に示すように単体の半導体レーザ200と単体のコアを有する光導波路300との光結合においても、光軸の高さを一致させるのに有効である。

【0183】図35は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例9にて、基板100に窪み106を形成し、窪みの部分にバッファ層310を埋め込み、その上にアンダークラッド層301Aとコア302とオーバークラッド層301Bよりなる光導波路300を形成したものである。ここに、バッファ層310の表面は基板100の窪み106のない部分と同じ高さにする。半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッド（図では見えず）及び電気配線用のパターン（図示せず）は、基板100の窪み106のない部分の表面に形成されている。

【0184】本実施例において、バッファ層310はシリコンの酸化物によって形成されるものであり、光導波路300のクラッド層301A、301Bとコア302の材料と寸法は図31の実施例のものと同じである。

【0185】本実施例による光結合装置は、例えば次のようにして製造される。基板100に、表面の面方位が{1

00} のシリコン基板を用い、これを異方性エッチングして窪み106を形成する。次いで、スパッタあるいはCVDあるいは塗布工程等により、窪み106にバッファ層310の材料になるものを埋め込み、必要があれば熱処理等を行って透明にする。なお本実施例のようにバッファ層310にシリコンの酸化物を用いる場合には1000℃以上の温度で熱処理する。次いで、研削し、バッファ層310の表面と基板100の表面が同じ高さになり、バッファ層310の表面が平坦になるようにする。次いで表面に絶縁膜（例えば窒化シリコン膜等。図35には明示せず。）を形成し、その上にボンディングパッド（図では見えぬ）と電気配線パターン（図示せず）を形成し、次いで光導波路300を形成する。ここに、絶縁膜形成は基板と電気配線パターンを絶縁するために行うものであり、この目的が達成されるのであれば他の方法を用いてもよい。

【0186】バッファ層310の厚さは10μm、クラッド層301A、301Bとコア302の構成は図31のものと同一である。本実施例によれば図31の実施例と同様に光導波路300と半導体レーザ200の光軸の高さを一致させるのが容易になる効果を生ずる。さらに、半導体レーザ200をボンディングする面がシリコン基板100の表面であるので、熱放散が良好になる効果も生ずる。

【0187】なお、本実施例において、バッファ層310は、その屈折率が光導波路300のアンダークラッド層301Aと同じかあるいは低屈折率で透明なものであれば何でもよい。例えばポリイミドでもよい。さらに、バッファ層310の上に形成される光導波路300はポリイミド導波路に限られるものではなく、その他の有機物又は無機物による光導波路であってもよい。

【0188】また、本実施例の適用範囲は図35のようなアレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。図36は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例10にて、図36に示すように、単体の半導体レーザ200と単体のコアを有する光導波路300の光結合においても光軸の高さを一致させるのに有効になる。

【0189】なお、以上説明したもののうち、図27の実施例の光導波路300の構造および半導体レーザ200の実装方法は、図8、図10および図12の実施例の光導波路300及び半導体レーザ200の実装にも適用可能である。

【0190】同様に、図28～図36の実施例の光導波路300の構造および半導体レーザ200の実装方法は、図8、図10、図11、図13～図18、図20～図26の実施例の光導波路300及び半導体レーザ200の実装にも適用可能である。

【0191】図37、図39、図40および図44は、光が光導波路を伝搬するにつれて、場所により光のスポットサイズあるいは閉じ込めの強さに変化する単体の光導波路の実施例を示すものである。

【0192】図37は伝搬するに伴い光スポットサイズが変化する光導波路の例1を示し、相対的に高い屈折率の

主コア302Aを相対的に屈折率が低い副コア302Bで取り囲んだ構造のコア302を有する光導波路300を例示するものである。図37(a)はその斜視図を、図37(b)は図37(a)の上側から見た平面図を、図37(c)は図37(b)の線X<sub>1</sub>-X<sub>1</sub>'上およびX<sub>2</sub>-X<sub>2</sub>'上の屈折率分布を、図37(d)は右下方から見た側面図断面を、図37(e)は図37(d)の線Y<sub>1</sub>-Y<sub>1</sub>'上およびY<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>'上の屈折率分布を示す。なお図37(d)は光軸中心に沿って切断したときの側面断面図、図37(c)の点線はX<sub>1</sub>-X<sub>1</sub>'上の屈折率分布、図37(c)の実線はX<sub>2</sub>-X<sub>2</sub>'上の屈折率分布、図37(e)の点線はY<sub>1</sub>-Y<sub>1</sub>'上の屈折率分布、図37(e)の実線はY<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>'上の屈折率分布、図37(d)の線(1)と(2)は導波路にガイドされる光の電界分布である。

【0193】本実施例の光導波路300は、一方の端には主コア302Aを有し、そこから光軸に沿って進むに従って、一定の区間では一定の幅の主コア302Aを有し、次いで主コア302Aの幅が徐々に狭くなり、次いで主コア302Aが消失する。具体的構成は、クラッド層301の屈折率が1.55、クラッド301と副コア302Bの比屈折率差が0.5%、主コア302Aの屈折率が1.6、副コア301Bの断面の外形寸法が6μm×6μm、主コア302Aを含む側の端において、主コア302Aの厚さが0.8μm、主コアの幅が3μmである。また、クラッド層301、副コア302Bおよび主コア302Aはいずれもポリイミドである。

【0194】このような構成の光導波路300は、図37(d)の(1)、(2)に示すように、主コア302Aがある部分では主コア302Aをコアとし、副コア301Bをクラッドとするような導波路が形成される。そのため、主コア302Aが存在する側では相対的にスポットサイズが小さくなり、主コア302Bが存在しない側では相対的にスポットサイズが大きくなる。

【0195】具体的には、主コア302Aを有する側の導波路にガイドされる光のスポットサイズは約3.1μm（縦）×5.5μm（横）であり、主コア302Bがない側の導波路のスポットサイズの径は約6.7μmである。

【0196】本実施例による光導波路300の主コア302Aを有する側のスポット径は、図8の実施例に用いた半導体レーザ200のスポットサイズとほぼ等しい。具体的には、図8の実施例に用いた半導体レーザ200のスポットサイズは3μm×6.8μmである。そのため、例えば図8の実施例の光導波路300に本実施例による光導波路300を用い、主コア302Aを有する側と半導体レーザ200を対向させると、高い結合効率が得られる。

【0197】さらに、主コア302Aがない側の光導波路と光ファイバとは、比較的高い効率で結合する。そのため、例えば図8、図10等に例示する光結合装置の光導波路に本実施例の光導波路を用いると、半導体レーザと光導波路の両方に高効率で結合する光結合装置が実現される。以下に、具体的に、図38のような結合系の場合の結合効率を例示する。図38(a)は半導体レーザ200に光ファイバ3を直接結合する場合、図38(b)は半導体レーザ20

0と光ファイバ3を主コア302Aを有しない光導波路300を介して結合する場合、図38(c)は半導体レーザ200と光ファイバ3を本実施例(図37の実施例)の光導波路を介して結合する場合である。

【0198】これら三つの場合について、半導体レーザ200の接合に垂直な方向のみに着目して半導体レーザ200と光ファイバ3の最大の光結合効率を求めると、図38(a)の場合が約67%、図38(b)の場合が約77%、図38(c)の場合が約95%になる。このように本実施例を用いると、比較的容易に、高結合効率の光結合装置を実現することができる。

【0199】以上、クラッド層301、副コア302Bおよび主コア302Aがポリイミドである光導波路について説明したが、これらは無機材料であってもよいし、有機材料の層と無機材料の層が混在するものであってもよい。

【0200】そこで次に、例えば、クラッド層301と副コア302Bにポリイミドを用い、主コア302Aにシリコン酸化膜やシリコン窒化膜を用いる場合の実施例について説明する。

【0201】このような実施例の光導波路は、図37と同じ構成とし、例えばプラズマCVDでシリコン窒化膜を形成し、これを主コア302Aとすればよい。具体的な構成は、クラッド層301の屈折率が1.55、クラッド層301と副コア302Bの比屈折率差が0.5%、主コア302Aの屈折率が1.7、副コア302Bの断面の外形寸法が $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ 、主コア302Aを含む側の端において、主コア302Aの厚さが $0.19\mu\text{m}$ 、主コアの幅が $4.55\mu\text{m}$ である。

【0202】このような光導波路の主コア302Aを有する側のスポットサイズは $3\mu\text{m} \times 5.7\mu\text{m}$ である。例えば図8の実施例の光導波路300にこのような光導波路を用い、この光導波路の主コア302Aを有する側を半導体レーザ200に対向させると、垂直方向のみについては99%の効率で光結合する。このように本実施例を用いると、垂直方向のスポットサイズを半導体レーザに一致させ、結合効率を向上させることが容易になる。その結果結合効率が向上する。

【0203】次に、本実施例により光導波路にガイドされる光のスポットサイズを大きく変化させる例を図7を用いて説明する。図7はクラッド層301と副コア302Bの比屈折率を0.5%、副コア302Bの厚さを $5\mu\text{m}$ 、主コア302Aの屈折率を1.6~1.9の間で変化させたときのスポットサイズを例示するものである。図7のグラフのうち曲線(a)は主コア302Aの厚さが $0.2\mu\text{m}$ の場合、曲線(b)は主コア302Aの厚さが $0.5\mu\text{m}$ の場合である。

【0204】図7によれば、主コア302Aの屈折率と厚さを変化させてスポットサイズを約 $1\mu\text{m} \sim 7\mu\text{m}$ の間で変化させることが可能になることがわかる。さらに、本実施例において副コア302Bの屈折率及び断面のサイズを変化させると、主コア302Aがない側にガイドされる光のスポットサイズを変化させることも可能になる。

【0205】例えば図6のグラフ(a)は、図8のようなスラブ導波路のコア302とクラッド301(屈折率1.55)の比屈折率差が変化したとき、光導波路にガイドされる光のスポットサイズがどのように変化するかを例示するものである。なお、コア302とクラッド301の比屈折率差を変化させるとコア302の厚さも変化させなければならぬため、図6にはコア302の厚さ(グラフ(b))も同時に示している。

【0206】図6によれば、副コアの屈折率と厚さを変化させてスポットサイズを約 $5\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$ の間で変化させることが可能になることがわかる。光導波路にガイドされる光のスポットサイズを拡大すると、光導波路と光ファイバの結合効率が向上し、さらに結合トレランスが拡大される。

【0207】このように、本実施例を用い、主コア302Aおよび副コア302Bのサイズと屈折率を変化させることにより、ガイドされる光のスポットサイズを広い範囲にわたって変化させることが可能な光導波路が実現される。その結果、高い結合効率と大きな結合トレランスを有する光結合構造を形成することが可能になる。

【0208】図39と図40は伝搬するに伴い光のスポットサイズが変化する光導波路の例2、例3及び例4であって、光軸方向に進むに従って副コア302Bの断面形状が変化する光導波路の実施例を示すものである。ここに、図39は、図37の実施例において、主コア302Aがある側の副コア302Bの幅を主コア302Aと同じにしたものである(図37の場合には主コア302Aに比べて副コア302Bのほうが幅が広い)。このようにすると、後に説明するように、光導波路の主コア302Aを有する側の横方向のスポット径がより小さくなる。そのため本実施例を用いると、例えば、横方向のスポット径がより小さい半導体レーザとの結合効率が向上する。

【0209】図40(a)は、主コア302Aが存在する側の副コア302Bの幅を、主コア302Aの幅よりも広く且つ反対側の端の副コア302Bの幅よりも狭くしたものである(図37の場合には副コア302Bの幅が一定である)。このようにすると、後に説明するように、光導波路の主コア302Aを有する側の横方向のスポット径が図37の実施例の場合と図39の実施例の場合の間になる。

【0210】図40(b)は、主コア302Aが存在する側の副コア302Bの幅が、相対的に広くなるようにしたものである(図37の場合には副コア302Bの幅が一定である)。このようにすると、後に説明するように、光導波路の主コア302Aを有する側の横方向のスポット径が相対的に大きくなるので、横方向のスポット径が相対的に大きい半導体レーザとの結合効率を向上させることができる。

【0211】図41(a)は、図39及び図40の実施例の効果を定性的に説明するためのものである。ここに図41(a)は光導波路の断面図である。クラッド層301の屈折率を $n_1$ 、副コア302Bの屈折率を $n_2$ 、主コア302Aの屈折率を $n_3$



で示す。また、主コア302Aの幅を $W_m$ 、副コア302Bの幅と主コア302Aの幅の差を $W_s$ で示している。さらに(1)は、この導波路にガイドされる光の電界強度分布を示しており、そのスポットサイズを $W_e$ で示す。

【0212】図41(b)は図41(a)の $W_s$ と副コア302Bの屈折率 $n_2$ が変化した場合の $W_e$ の変化を定性的に示すものである。 $W_s$ を横軸にとり、 $n_2$ を $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ にしたときの $W_e$ の変化を示している。

【0213】図示したように、 $W_s$ が大きくなるとスポットサイズ $W_e$ が大きくなる。また $n_2$ が大きくなるとスポットサイズが大きくなる。なお $W_s$ が一定値より小さくなると逆の変化をするようになる。具体的には図37の実施例の光導波路(主コア302Aを、屈折率1.7、厚さ $0.19\mu\text{m}$ のシリコン窒化膜で構成するもの)において、例えば $W_s$ を $10\mu\text{m}$ にすると、横方向のスポット径は $6.3\mu\text{m}$ になる( $W_s$ が $0.7\mu\text{m}$ の場合のスポット径は $5.7\mu\text{m}$ )。さらに、 $W_s$ を十分広くし(例えば $20\mu\text{m}$ )、 $W_m$ を $1.5\mu\text{m}$ まで狭くすると、横方向のスポット径は $7.2\mu\text{m}$ になる。

【0214】図37の実施例のうち、主コア302Aを、屈折率1.6、厚さ $0.8\mu\text{m}$ のポリイミドで構成するものの場合には、 $W_m$ を $1.6\mu\text{m}$ 、 $W_s$ を $10\mu\text{m}$ にすると、横方向のスポット径は $6.5\mu\text{m}$ になる。このように、 $W_s$ と $W_m$ を調節すると、広い範囲にわたってスポットサイズを調節することができる。光導波路のスポットサイズを調節し、半導体レーザに一致させることにより高い結合効率を持った光結合装置を実現することができる。

【0215】なお、図37、図39および図40の実施例は、図8、図10、図11、図13～図18、図20～図36の実施例の、いずれの導波路にも適用可能である。図42は主コア及び副コアを用いた曲がり導波路を有する単体の光導波路であって、図37の実施例による光導波路を曲がりを有する導波路に適用する例を示したものである。図42(a)は、光導波路を、曲がりの部分およびその前後に主コア302Aを有する構成としたものである。図42(b)は、光導波路を、曲がりの部分から片方の端部にかけて主コア302Aを有する構成としたものである。

【0216】本実施例による導波路は、曲がりの部分において光が強く閉じ込められるので、曲がりの曲率を比較的小さくした場合でも損失が小さいものとなる。さらに図42(b)の場合には、主コア302Aのある側にガイドされる光のスポットサイズが小さいものとなり、半導体レーザ等との結合効率が向上する効果が得られる。

【0217】例えば図18、図20～図26の実施例に示す光結合装置の光導波路300に、図42の光導波路300を用いると、装置を小型にすることができる。さらに、例えば図18、図20～図26の実施例に示す光結合装置の光導波路300に、図42(b)のものをを用い、主コア302Aを有する側の端面を半導体レーザ300に対向させた場合には、両者のスポットサイズが一致するようになり光結合効率が向上する効果も得られる。

【0218】図43はコアの幅を変化させた曲がり導波路を有する光導波路であって、図43において、光導波路を、曲がりの部分およびその前後で幅が広がる構成のコア302の周囲をクラッド301で取り囲む構成としたものである。ここに図43(a)は本実施例による光導波路の斜視図、図43(b)は図43(a)を上側から見た平面図である。

【0219】本実施例による導波路は、曲がりの部分において光が強く閉じ込められるので、曲がりの曲率を比較的小さくした場合でも損失が小さいものとなる。例えば図18、図20～図26の実施例に示す光結合装置の光導波路300に、図43の光導波路300を用いると、装置を小型にすることができる。

【0220】図44および図45は、光導波路300を、ポリイミドによるクラッド層301Aの上側にプラズマCVDで形成したシリコン窒化膜311を配置し、その上にコア302とオーバークラッド301Bを配置した構成としたものである。シリコン窒化膜311の厚さは $200\text{nm}$ 以下である。

【0221】図44(a)は単一の構成のコア302を有する例1にて、図44(b)および図45(a)～図45(c)は、コア302を主コア302Aと副コア302Bの複合体で構成する例2、例3、例4及び例5である。それぞれ図37、図40(a)、図40(b)、図39に対応する導波路のクラッド301とコア302の間にプラズマCVDで形成したシリコン窒化膜311を配置したものである。本実施例では、コア302となるべき層を形成した後にその上にマスクを形成し、次いで酸素プラズマでエッチングして矩形のコア302を形成する。本実施例を用いると、酸素プラズマエッチングによりコア302を矩形に加工する際、シリコン窒化膜311がエッチングストップ層になり、加工が容易になる。

【0222】図46は、図10の実施例において、金属製のリング304の下側に相当する部分および半導体レーザ200に対向する端部を、主コア302Aと副コア302Bの複合体で構成されるコア302を有する導波路にしたものである。具体的には、本導波路は、クラッド層301の屈折率が1.55、副コア302Bの屈折率が1.558、主コア302Aの屈折率が1.6、副コア302Bの断面の外形寸法が $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ 、さらに、主コア302Aを含む側の端において、主コア302Aの厚さが $1\mu\text{m}$ 、主コア302Aの幅が $3\mu\text{m}$ 、アンダークラッド301とオーバークラッド301の厚さが $20\mu\text{m}$ である。このようにすることにより、金属製のリング304が存在することによる損失を低減することができる。

【0223】図47は、図10又は図11の実施例において、気密封止の際の光結合装置1の電気的な接続端子の確保のために、電気配線パターン502を形成した独立した部材(電気配線部材500)を用いるものである。

【0224】光導波路300は、図35に例示したような基板100の窪み106にバッファ層310を埋め込んだものである。電気配線パターン502はリング状のセラミック基板501とリング状のセラミックの板503に挟まれるように形成されている。セラミック板503の上にはリング状に金

属皮膜504が形成され、その上に蓋400を抵抗溶接し、気密封止をしている。

【0225】図48と図49は、図47に例示した光結合装置の製造工程を示すものである。まず図48(a)のように、異方性エッチングでシリコン基板100に窪み106を形成する。次いで、図48(b)のように、窪み106にパッファ層310の材料（具体的には石英又はポリイミド樹脂）を充填し、次いで表面を研削して平坦にする。次に、図48(c)のように、クラッド301とコア302で構成される光導波路300を形成する。さらに、基板の窪み106の右上側の端に相当する部分がその端になるように、導波路300に孔303を形成する。孔303の部分には基板100の表面および基板100の表面に形成された電気配線パターン（図示せず）及び半導体レーザをボンディングするためのボンディングパッド102が露出している。

【0226】なお、光導波路300に有機材料を用いる場合には、基板の表面に電気配線パターン（図示せず）とボンディングパッド102を形成した後、光導波路の材料を塗布し、光導波路300及び孔303を形成する。光導波路に石英等の高温処理を要する材料を用いる場合には、光導波路300と孔303を形成した後、孔303の部分の基板100の表面に電気配線パターン（図示せず）とボンディングパッド102を形成する。

【0227】次に、図49(a)に示すものは、光導波路付基板に張り合わせるための独立した電気配線部材500である。電気配線部材500は、図49(a)のように、セラミック基板501上に電気配線パターン502を形成し、さらにその上にセラミックの板503を張り合わせ、さらにその上にリング状の金属皮膜504を形成したものである。

【0228】このような電気配線部材500を、図49(b)に示すように、光導波路付基板の上に張り合わせる。次に、図49(c)のように、アレイ状の半導体レーザ200をボンディングする。次にリング状の金属皮膜504のうえに金属製の蓋400を重ね、周囲を抵抗溶接すれば、図47のように気密封止される。

【0229】本実施例によれば、別に製造した電気配線部材500を張り合わせるだけで気密封止をすることができるようになる。そのため、電気配線の製造工程が、導波路の製造工程に影響されなくなる。

【0230】例えば、図10又は図11の実施例においては、光導波路の製造工程に対応して電気配線パターン103の材料および製造工程を選択する必要がある。しかし、本実施例では電気配線部材を別に製造するので、その製造工程は光導波路の製造工程とは全く無関係となる。そのため、例えば、集積回路用パッケージの製造工程をそのまま使用する等電気配線部材の製造に従来の製造方法を用いることが可能になる。

【0231】

【発明の効果】以上説明した如く本発明によれば、光結合させるべき半導体レーザと光導波路の2種類の光部品

をそれぞれアレイ状に配列して対向させ、それらアレイ状の光部品を、それら光部品の要素部品間の配列ピッチが光結合に許容される結合トレランスの±2倍の誤差範囲内に止まるよう配列して基板上に製作し、それぞれ対向した2種類の光部品間の光結合を測定して最も高い結合度を示す一对の光部品を選択することによって、光結合させるべき2種類の光部品の、基板と平行な横方向の位置調整のための光学調整が不要になり、また、2種類の光部品のいずれか一方の光部品を、光学調整のために一時的に発光させることによって損傷させてしまうことを未然に防ぐことができ、さらに、光ファイバと半導体レーザを光結合させる場合、これらの中にアレイ状の光導波路を介在させるため、半導体レーザを小さなピッチでアレイに配列できて、半導体レーザと光導波路の2種類の光部品をアレイ状にしても光結合装置全体を小型化でき、さらに、本発明によれば、上記2種類の光部品を基板上に設置する場合、光導波路のアンダークラッド層と基板の間にアンダークラッド層より低屈折率のパッファ層を設けることにより、アンダークラッド層とパッファ層を合わせた層厚を薄くすることができ、光学調整を行わずに、上記半導体レーザと光導波路との、上記横方向と直角の高さ方向の光軸ずれを軽減させることができ、さらに、本発明によれば、上記パッファ層を無機材料で作成し、上記アンダークラッド層、コア層及びオーバークラッド層を含む光導波路を有機材料で作成することにより、当光導波路を形成するまえに容易にパッファ層の上に電気配線用パターンや半導体レーザを載置するボンディングパッドを形成することができ、また、光導波路をプラズマエッチングにより容易に形成することができ、さらに、本発明によれば、光導波路のコアを、主コアと主コアより低屈折率の副コアを、主コアを中心に副コアをその周囲を取り巻く構造で且つ光の進行方向に沿って主コアの断面積を徐々に小さくするように形成することによって、あるいは、光導波路のコアの断面積を光の伝播方向に変化させることによって、コアを伝播する光のポット径を変化させることができ、主コアの断面積が大きい側に半導体レーザを、小さい側に光ファイバを接続した場合、高い結合度にて半導体レーザと光ファイバを光結合させることができ、また、光導波路を小さい曲率半径で曲げることができて光結合装置を小型化できる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の手段1における要素部品間の配列ピッチの説明図

【図2】 パッファ層を有する3層スラブ構造の光導波路の断面図と屈折率分布図

【図3】 図2のスラブ構造導波路の電界分布図と屈折率分布図

【図4】 3層スラブ構造の光導波路の層構造図と屈折率分布図

【図5】 図4の光導波路にガイドされる光の電界分布と屈折率分布図

【図6】 図2の光導波路にガイドされる光のスポットサイズとコアの厚さを示す図

【図7】 図37の光導波路にガイドされる光のスポットサイズを示す図

【図8】 本発明の第1の実施例による光結合装置を示す図

【図9】 図8に示す本発明の第1の実施例の光結合装置の半導体レーザと光導波路の結合効率を例示する図

【図10】 図8に示す本発明の第1の実施例の光結合装置の第1の変形実施例による光結合装置を示す図

【図11】 図8に示す本発明の第1の実施例の光結合装置の第2の変形実施例による光結合装置を示す図

【図12】 図10の第1の変形実施例の光結合装置において、光ファイバと接続すべき導波路を選択する実施例

【図13】 図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第1の実施説明図

【図14】 図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第2の実施説明図

【図15】 図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第3の実施説明図

【図16】 図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第4の実施説明図

【図17】 図8の第1の実施例の第3の変形実施例による光結合装置を示す図

【図18】 図8の第1の実施例の第4の変形実施例による光結合装置を示す図

【図19】 図18の第4の変形実施例の光結合装置の光ファイバと接続すべき導波路を選択する方法の説明図

【図20】 図18の第4の変形実施例による光結合装置の光導波路に光ファイバを結合するための構成を例示する図

【図21】 図18の第4の変形実施例による光結合装置の光導波路に光ファイバを結合するための他の構成を例示する図

【図22】 図20の実施例の変形実施例による光結合装置を示す図

【図23】 図21の実施例の変形実施例による光結合装置を示す図

【図24】 図23の実施例の変形実施例による光結合装置を示す図

【図25】 図18の実施例に図10の実施例を適用する光結合装置を示す図

【図26】 図22の実施例に図10の実施例を適用する光結合装置を示す図

【図27】 半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例1）

【図28】 半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す

図（例2）

【図29】 半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例3）

【図30】 半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例4）

【図31】 半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例5）

10 【図32】 半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例6）

【図33】 半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例7）

【図34】 半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例8）

【図35】 半導体レーザとバッファ層の上に形成された光導波路との高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例9）

20 【図36】 0 導体レーザとバッファ層の上に形成された光導波路（それぞれ単体）との高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例10）

【図37】 伝搬するに伴い、光のスポットサイズが変化する単体の光導波路（例1）を示す図

【図38】 半導体レーザの出力を直接光ファイバに導入する場合と光導波路を介して導入する場合とその光導波路が光スポットサイズを変化させる場合の光結合説明図

30 【図39】 伝搬するに伴い、光のスポットサイズが変化する単体の光導波路（例2）を示す図

【図40】 伝搬するに伴い、光のスポットサイズが変化する単体の光導波路（例3及び例4）を示す図

【図41】 図39及び図40における光スポットサイズの変化を示す図

【図42】 主コアと副コアを有する単体の曲がり導波路を含む光導波路を示す図

【図43】 コアの幅を変化させた曲がり導波路を含む光導波路を示す図

40 【図44】 ポリイミドによるクラッド層の上にシリコン窒化膜を配置し、更にその上にコアを形成した光導波路（例1及び例2）を示す図

【図45】 ポリイミドによるクラッド層の上にシリコン窒化膜を配置し、更にその上にコアを形成した光導波路（例3、4及び5）を示す図

【図46】 図10の実施例の光導波路に複合コアを適用した実施例を示す図

【図47】 図10または図11の気密封止の光結合装置に、電気的接続端子用の電気配線パターンを適用した実施例を示す図

50 【図48】 図47の電気封止をした光結合装置の製造工

程を示す図（その１）

【図４９】 図４７の電気封止をした光結合装置の製造工程を示す図（その２）

【図５０】 半導体レーザと光ファイバをレンズを用いて光結合させた従来の光結合装置を示す図

【図５１】 気密封止をした光半導体レーザと光ファイバをレンズを用いて光結合させた従来の光結合装置を示す図

【図５２】 半導体レーザと先端をレンズ状に加工した光ファイバを結合させた従来の光結合装置を示す図

【図５３】 図５２の半導体レーザを気密封止した従来の光結合装置を示す図

【図５４】 半導体レーザと光ファイバの位置合わせを簡易化する構造を有する従来の光結合装置を示す図

【図５５】 図５４の光ファイバにテーパ先球ファイバを用いて結合効率の向上を図った従来の光結合装置を示す図

【図５６】 図５４あるいは図５５の半導体レーザを気密封止した従来の光結合装置図５４あるいは図５５の半導体レーザを気密封止した従来の光結合装置を示す図

【図５７】 マルチモード光導波路を適用した従来の光結合装置を示す図

【図５８】 シングルモード光導波路を適用した従来の光結合装置を示す図

【図５９】 半導体レーザの光軸を持ち上げて半導体レーザとシングルモード光導波路を結合させた従来の光結合装置を示す図

【図６０】 微動装置を用い、マークを利用して半導体レーザを基板に実装することを示す実装説明図を示す図

【図６１】 半導体レーザをクリップチップボンディングするときの半導体レーザ及び基板の従来の構成図とその寸法図

【符号の説明】

１、１Ａ、１Ｂおよび１Ｃ：光結合装置、

２：フォトダイオード、

３及び３Ａ：光ファイバ、

５：スペーサ、

４１及び４２：レンズ、

１００、１１０、１２０、１４０、１５０、１６０、１７０及び１８０：基板、

１０１：電気的な絶縁を行うための膜、

１０２：ボンディングパッド、

１０６：基板に形成した窪み、

１０７：位置合わせのための印、

１０８：電気的な絶縁を行うための膜、

１１０：共通基板、

１１１：レール、

１２１：光ファイバガイド溝、

１０４及び１２２：レール嵌合溝、

１０ １２３及び１３２：周期的凹凸、

１３０：光ファイバ押接部材、

１３１：光ファイバ押接溝、

１８１：ファイバをガイドするための溝、

２００：半導体レーザ等の光半導体装置、

２００Ｘ及び３００Ｘ：アレイ状の光学部品、

２０１：能動領域、

２０２：ボンディングパッド、

２０３：ボンディングのための接着用部材、

２０４：位置合わせのための印、

２０ ３００：光導波路、

３０１：光導波路のクラッド層、

３０１Ａ：アンダークラッド、

３０１Ｂ：オーバークラッド、

３０２：光導波路のコア、

３０２Ａ：主コア、

３０２Ｂ：副コア、

３０３：孔、

３０４：リング状の金属部材、

３１１：無機物の薄膜、

３０ ４００：気密封止をするための蓋、

５００：電気配線部材、

５０１、５０３及び５０４：リング状の部材、

５０２：電気配線パターン、

６００：光半導体素子を気密封止するための入れ物、

６０７：封止用窓、

７００：光半導体素子を気密封止するための基体、

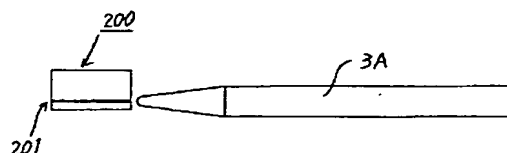
７０３：突起７０４を切り欠いた部分、

７０４：突起、そして、

７０５：接着剤。

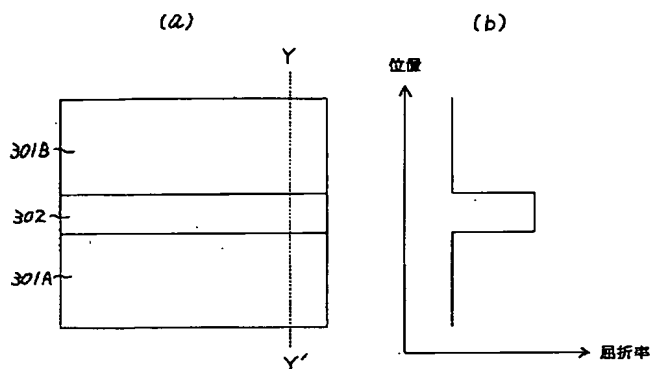
【図５２】

半導体レーザと先端をレンズ状に加工した光ファイバを結合させた従来の光結合装置



【图 2】

バッファ層を有するS層スラブ構造の光導波路の断面図と屈折率分布図



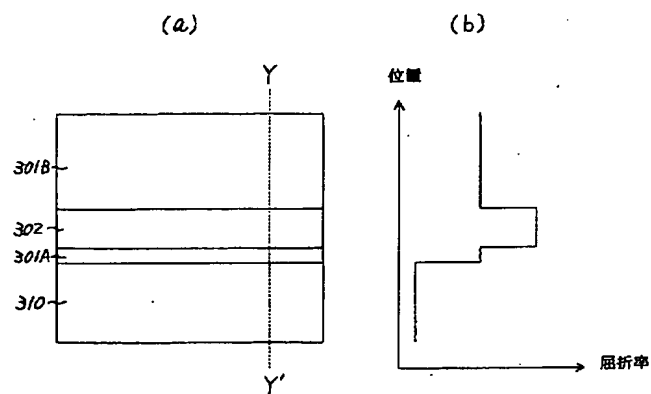
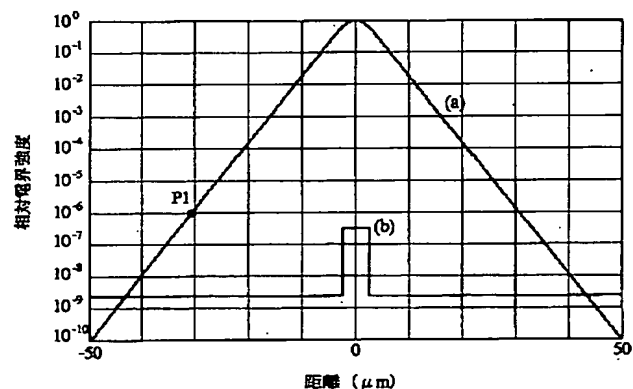
$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 - 2T_0 & \Delta_6 &= 0 \\ P_2 &= P_1 + 2T_0 & \Delta_5 &= \Delta_7 = 2T_0 \end{aligned}$$

$T_0$  : 二つの部品の結合トレランス

【図 3】

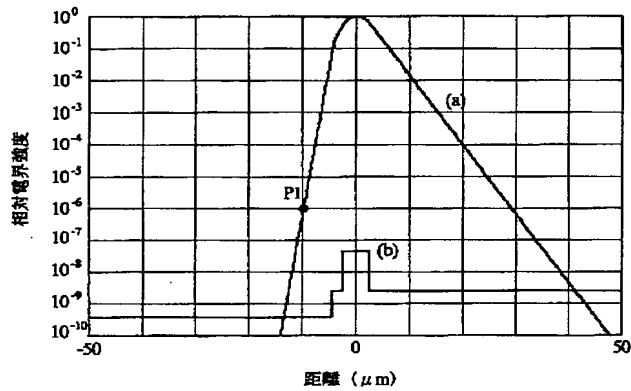
3層スラブ光導波路の同構造図とY-Y'における屈折率分布図

図2のスラブ構造の光導波路の電界分布(a)と屈折率分布(b)を示す図



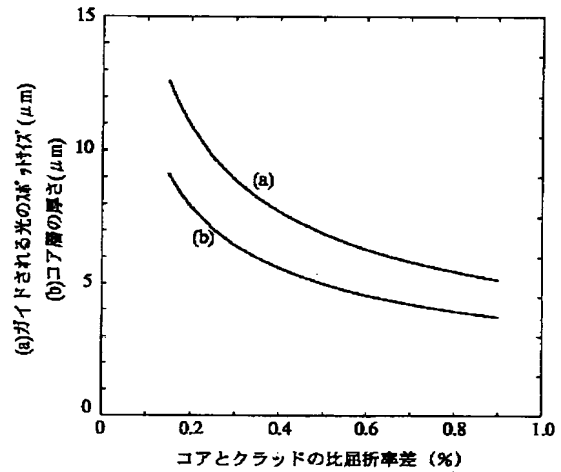
【図 5】

図 4 の光導波路にガイドされる光の電界分布 (a) と屈折率 (b) を示す図



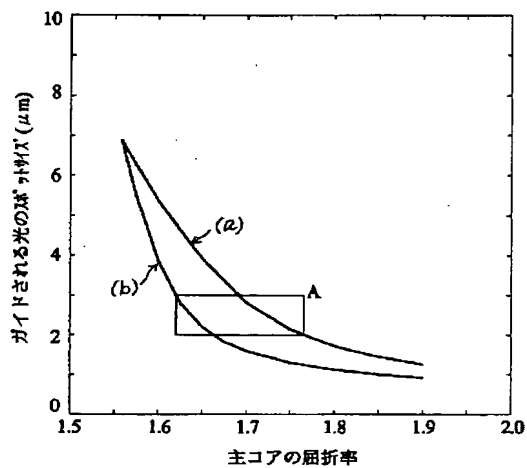
【図 6】

図 2 の光導波路の比屈折率の変化に応じた光導波路にガイドされる光のスポットサイズ (a) とコアの厚さ (b)



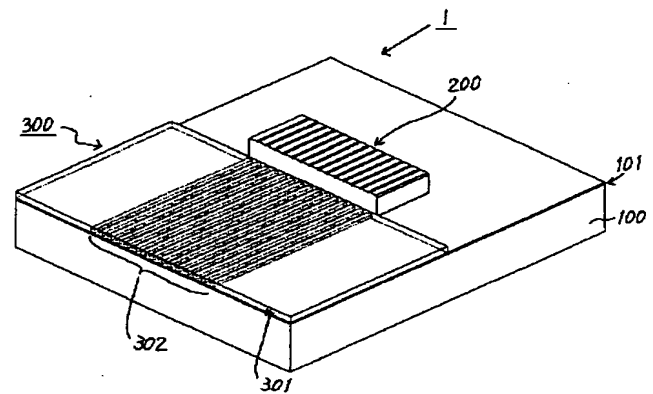
【図 7】

図 3 7 に例示した光導波路にガイドされる光のスポットサイズ



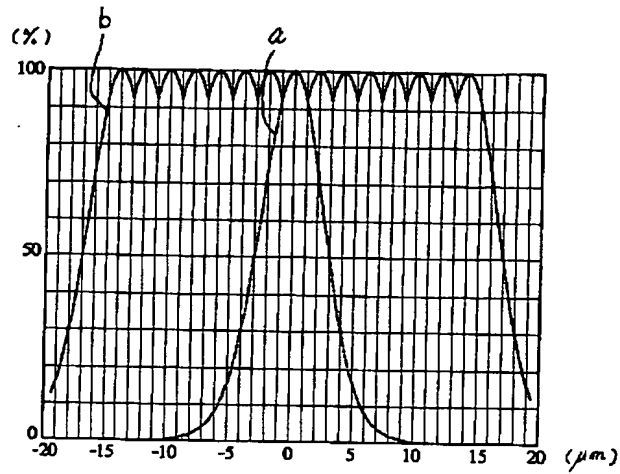
【図 8】

第 1 の実施例による光結合装置



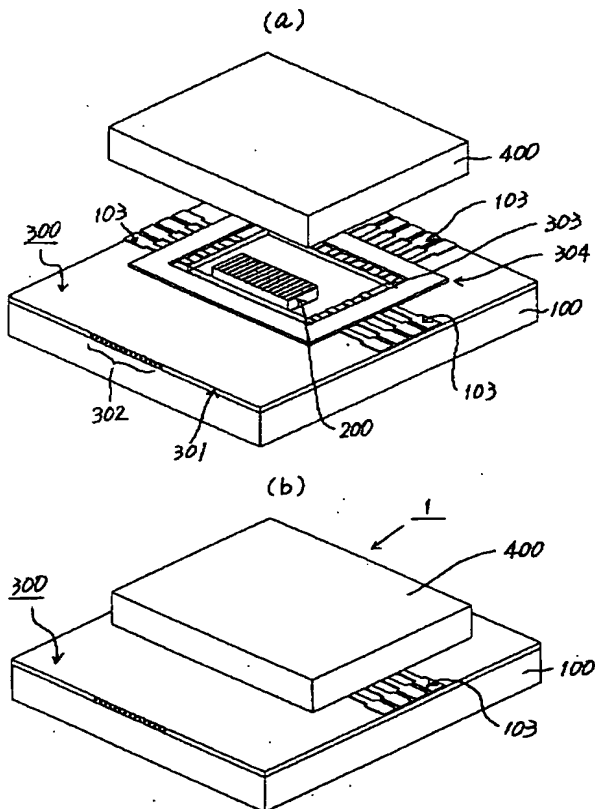
【図9】

図8の第1の実施例の光結合装置の半導体レーザと光導波路の結合効率を示す図



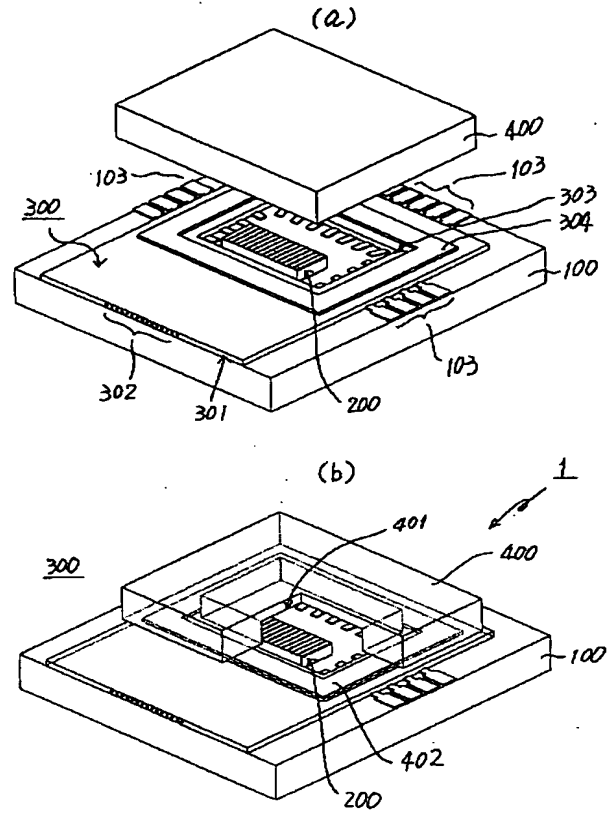
【図11】

図8の第1の実施例の第2の変形実施例による光結合装置



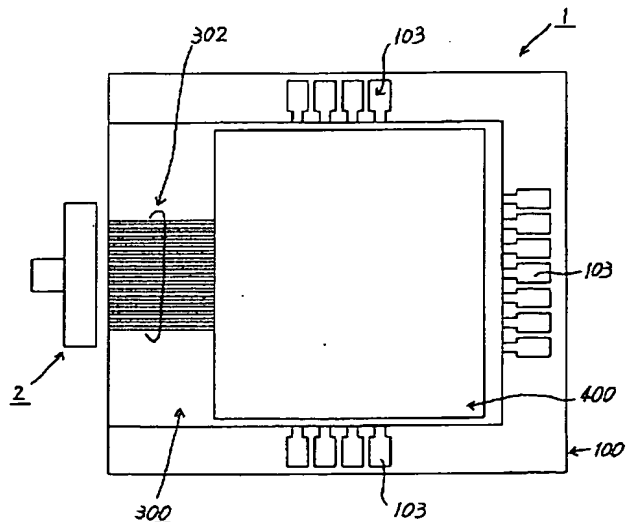
【図10】

図8の第1の実施例の第1の変形実施例による光結合装置



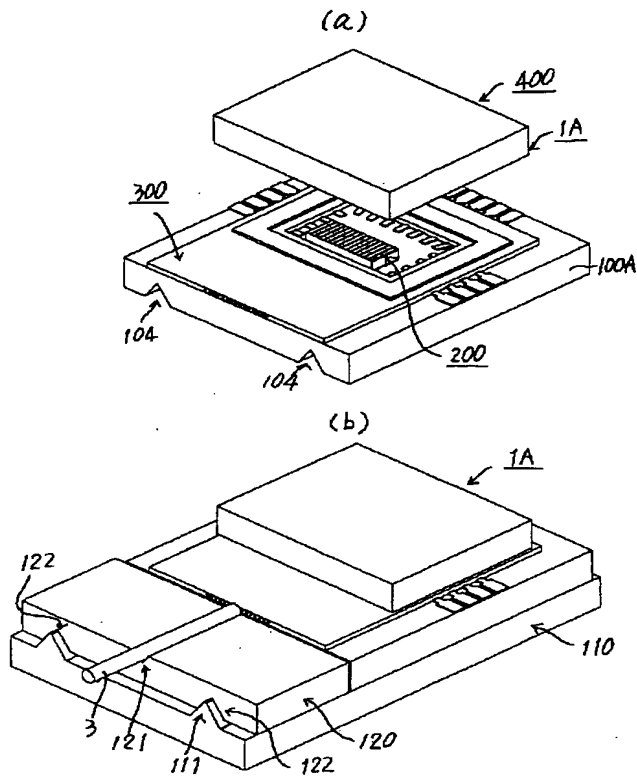
【図12】

図10の第1の変形実施例の光結合装置において、  
光ファイバと接続する導波路を選択する実施例



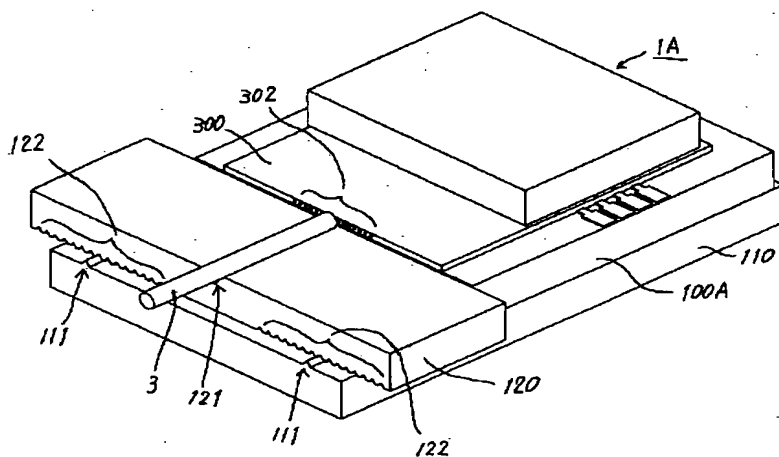
【図 13】

図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第1の実施説明図



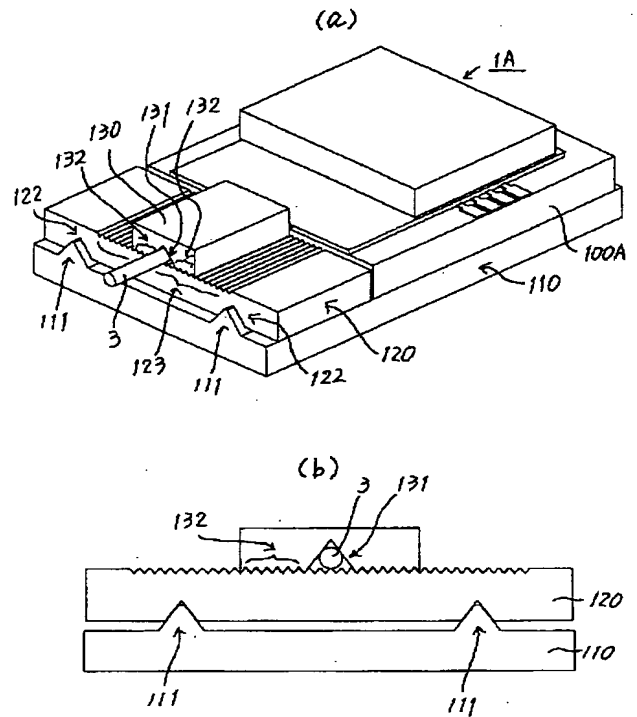
【図 14】

図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第2の実施説明図



【図 15】

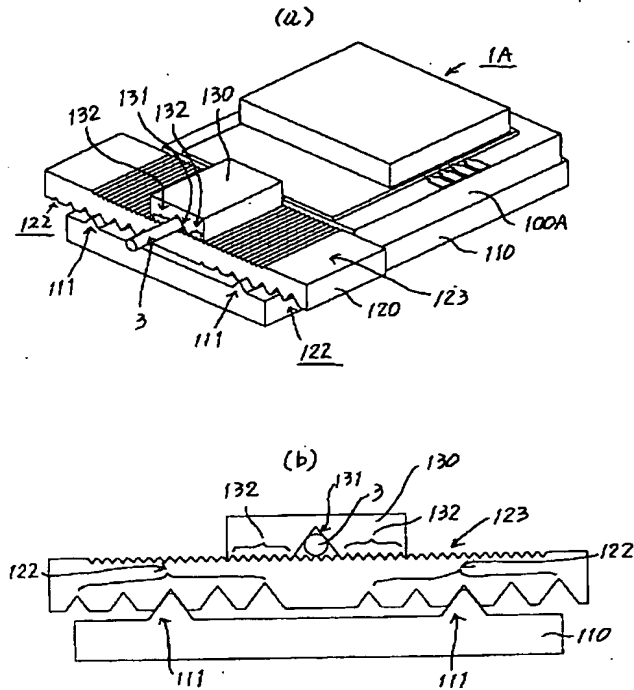
図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第3の実施説明図





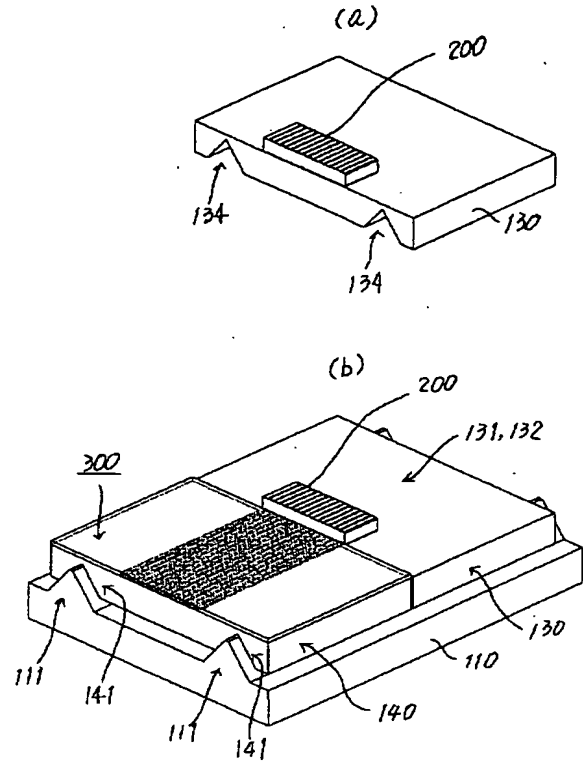
【図16】

図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第4の実施説明図



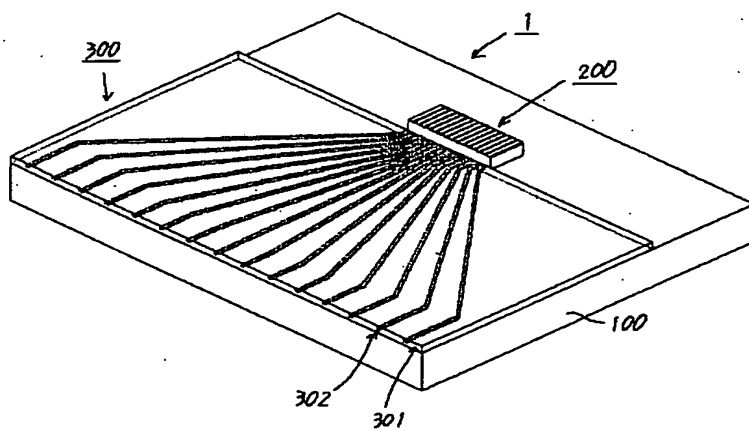
【図17】

図8の第1の実施例の第3の変形実施例による光結合装置



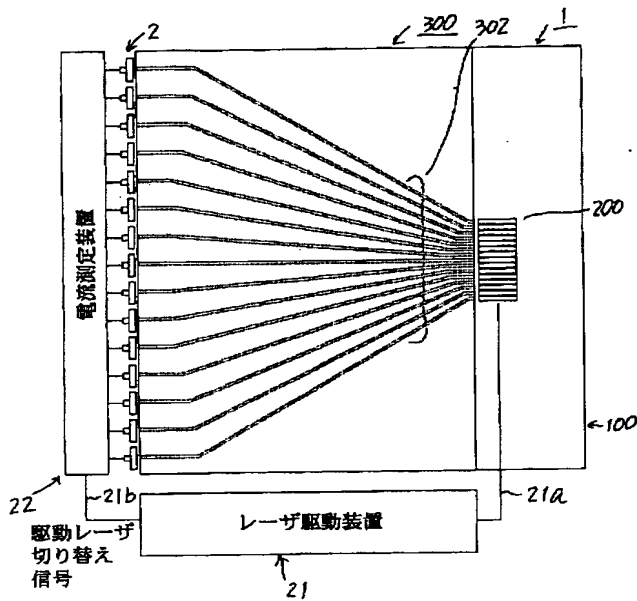
【図18】

図8の第1の実施例の第4の変形実施例による光結合装置



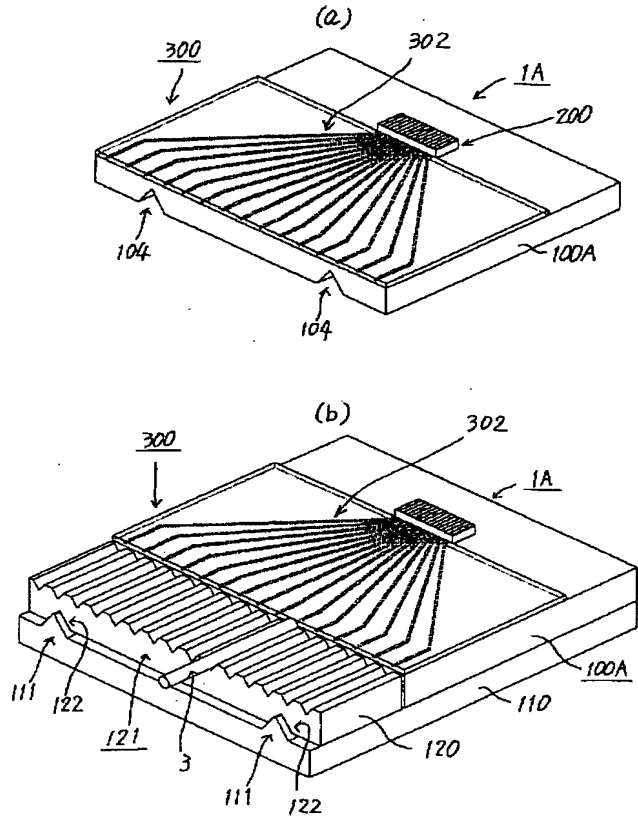
【図 19】

図18の第4の変形実施例の光結合装置の光ファイバと  
接続すべき導波路を選択する実施例



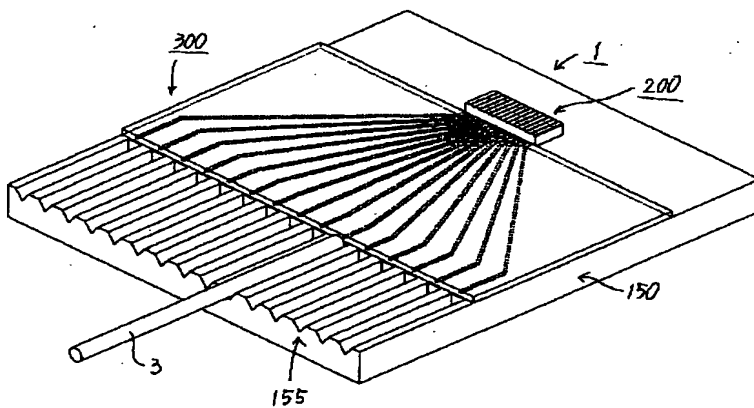
【図 20】

図18の第4の変形実施例の光結合装置の光ファイバを  
結合するための構成の例示図



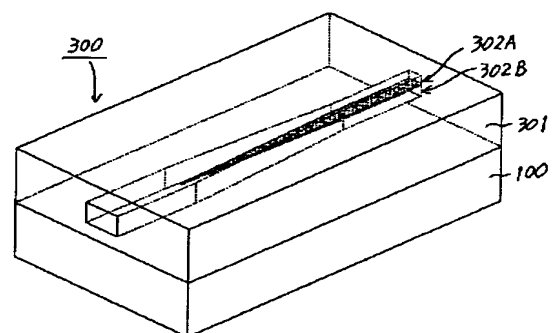
【図 22】

図20の実施例の変形実施例による光結合装置



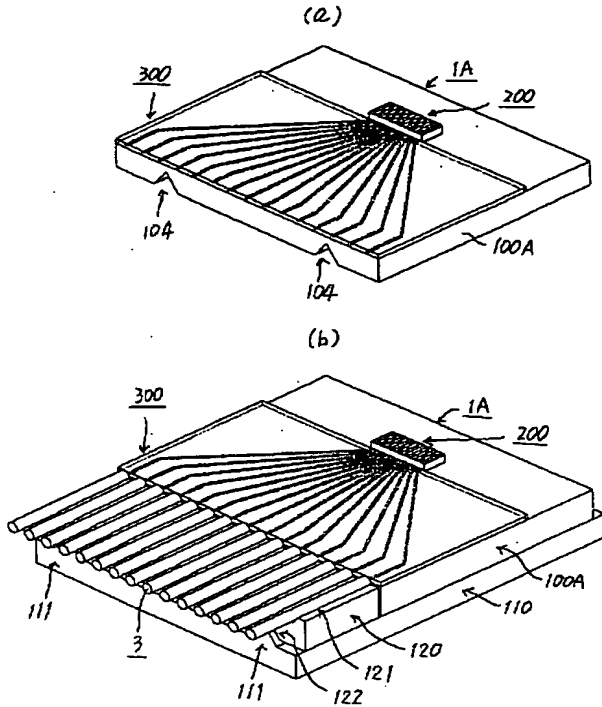
【図 39】

伝搬するに伴い、光のスポットサイズが変化する単体の  
光導波路 (例2)



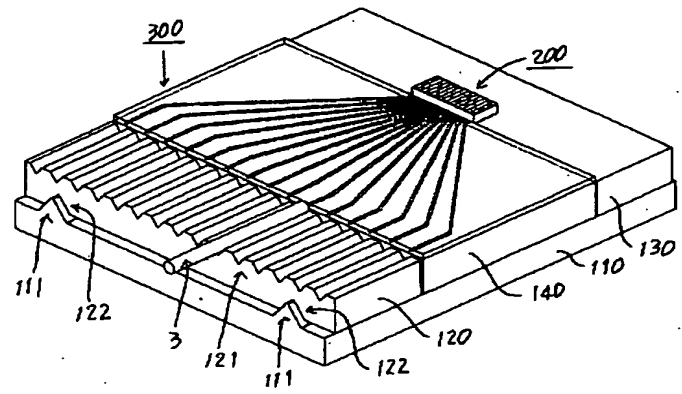
【図21】

図18の第4の変形実施例の光結合装置の光導波路に  
光ファイバを結合するための他の構成の例示図



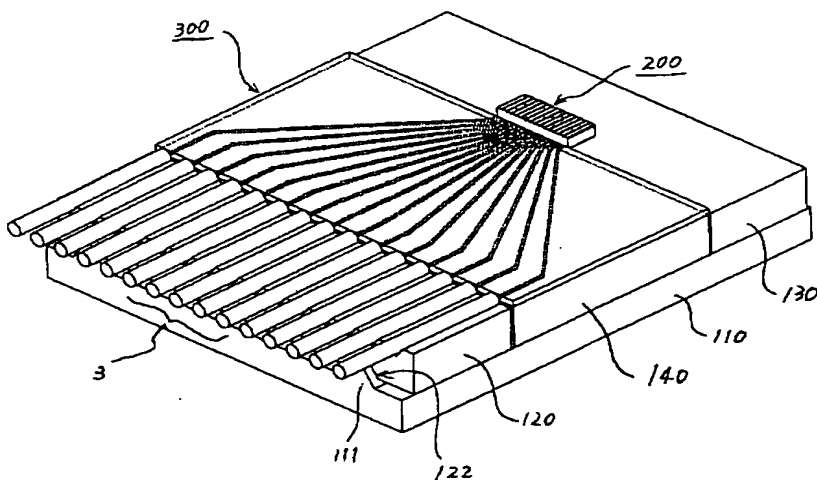
【図23】

図21の実施例の変形実施例による光結合装置



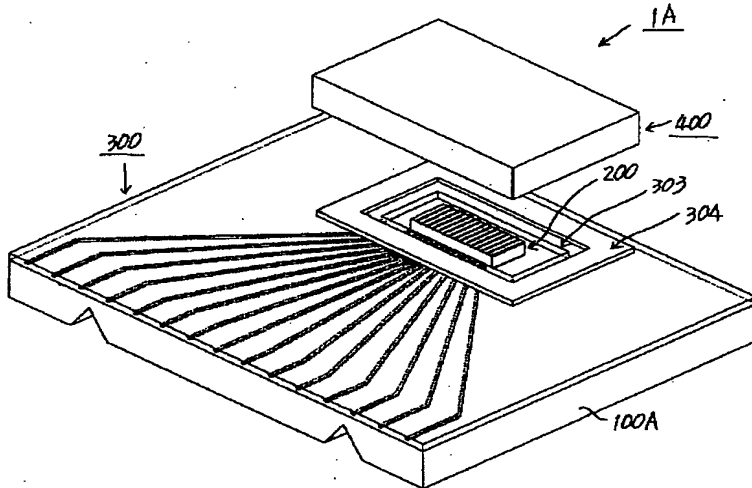
【図24】

図23の実施例の変形実施例



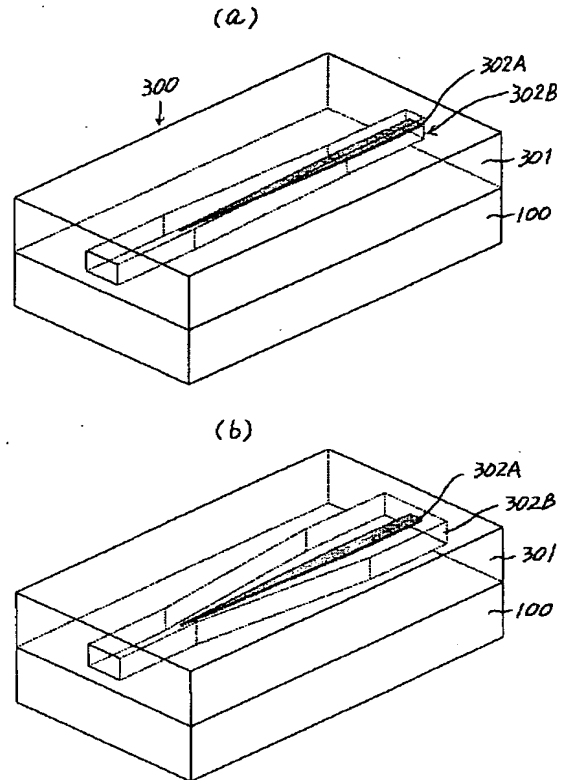
【図 2 5】

図18の第4の変形実施例に図10の実施例を適用する光結合装置



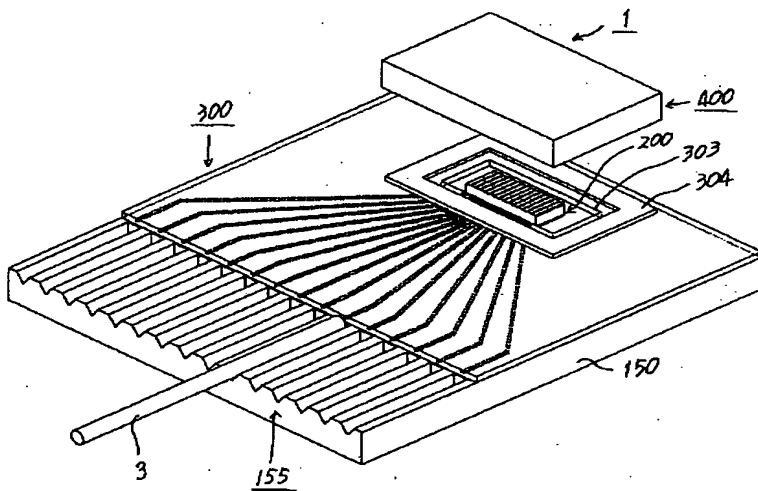
【図 4 0】

伝搬するに伴い、光のスポットサイズが変化する単体の  
光導波路（例3及び例4）



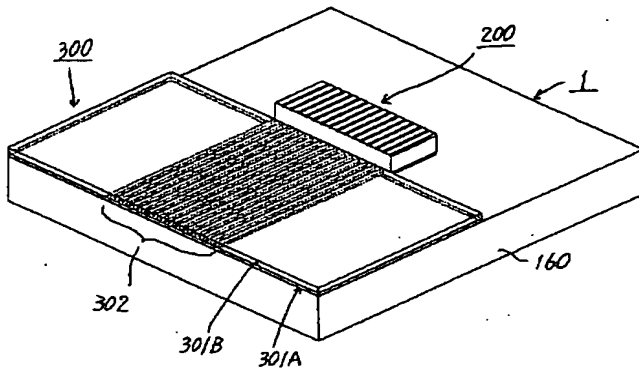
【図 2 6】

図22の実施例に図10の実施例を適用する実施例



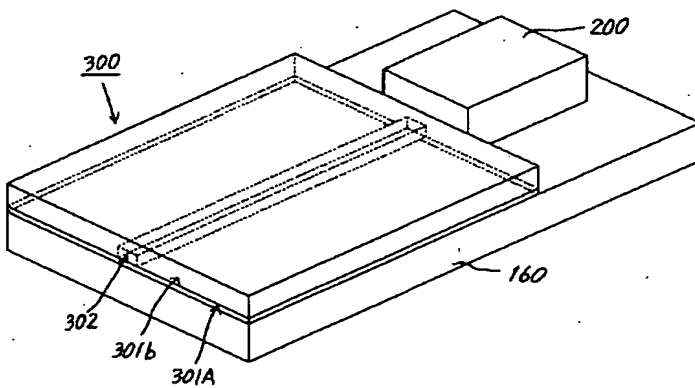
【図27】

半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを  
容易にした光結合装置（例1）



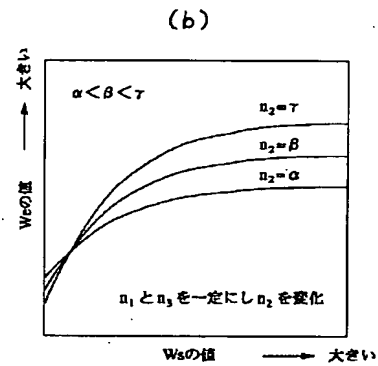
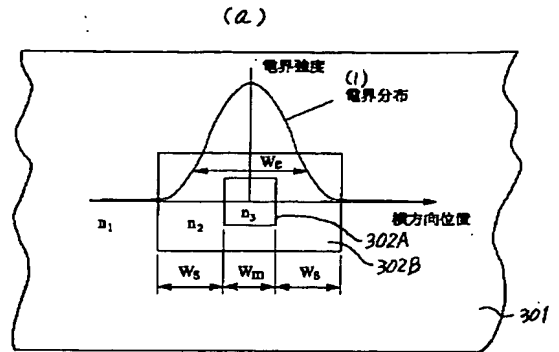
【図28】

半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の  
光軸合わせを容易にした光結合装置（例2）



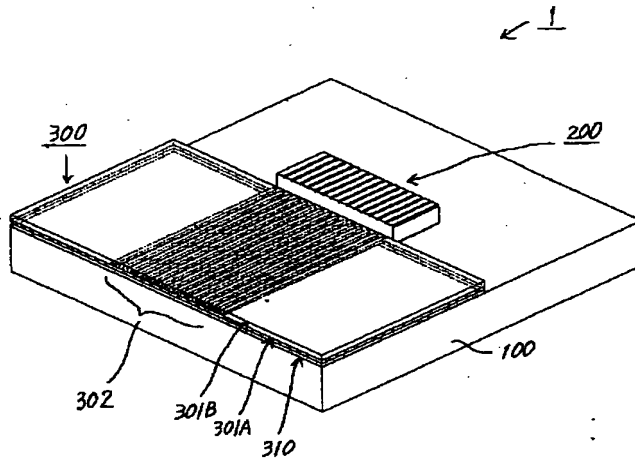
【図41】

図39及び図40における光スポットサイズを示す図



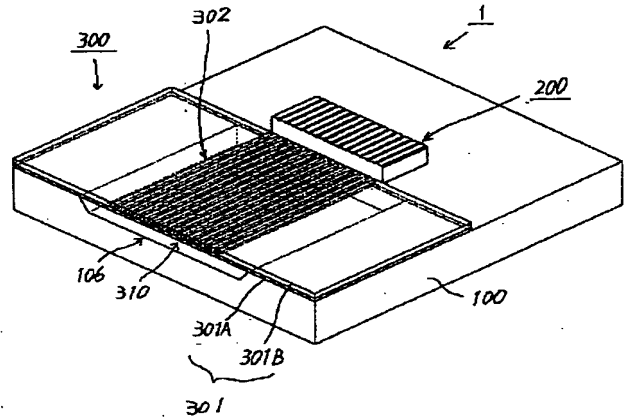
【図 29】

半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置（例 3）



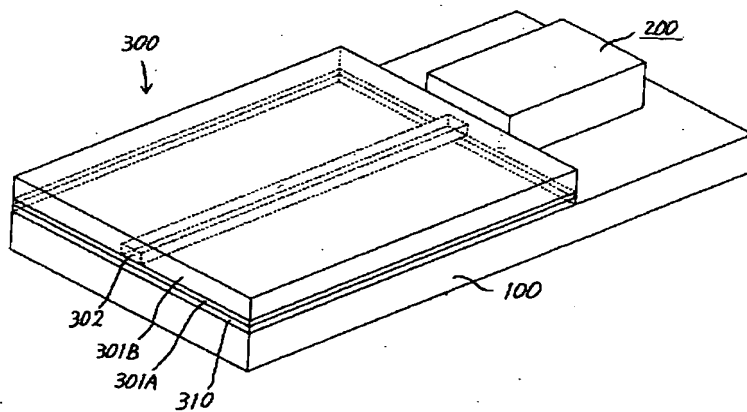
【図 35】

半導体レーザとパッファ層の上に形成された光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置（例 9）



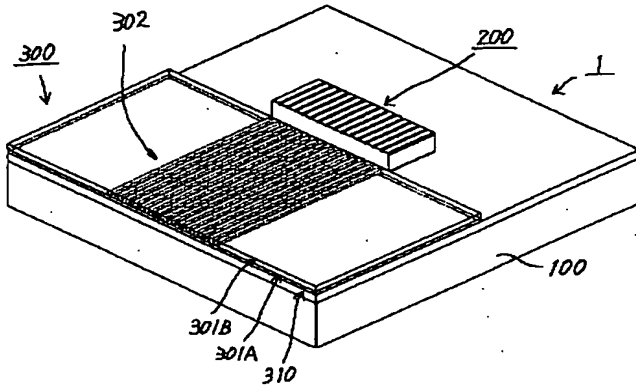
【図 30】

半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置（例 4）



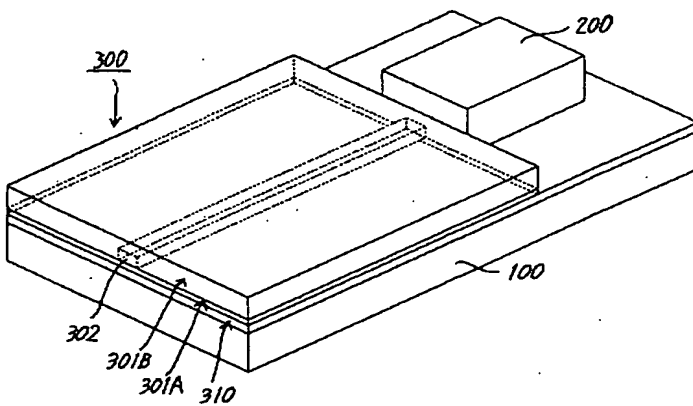
【図31】

半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置（例5）



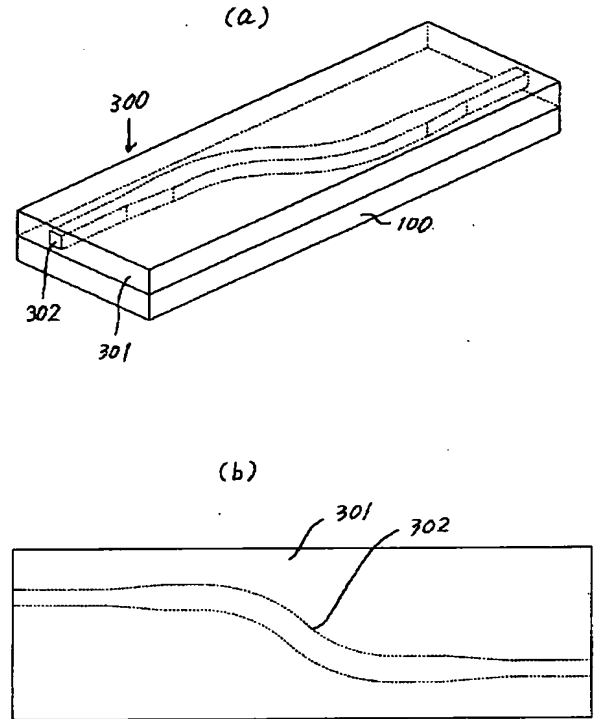
【図32】

半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置（例6）



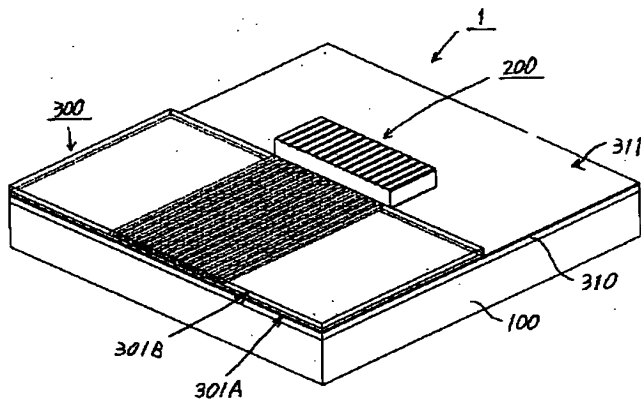
【図43】

コアの幅を変化させた曲がり導波路を含む光導波路



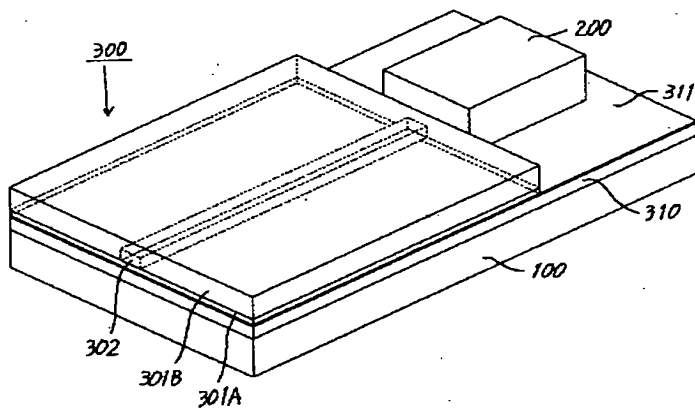
【図 33】

半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを  
容易にした光結合装置（例 7）



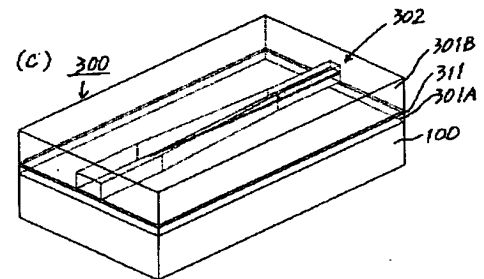
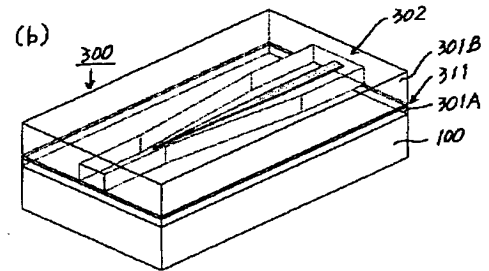
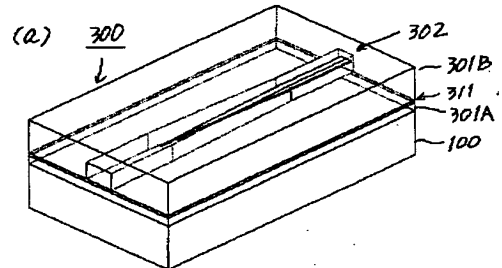
【図 34】

半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の  
光軸合わせを容易にした光結合装置（例 8）



【図 45】

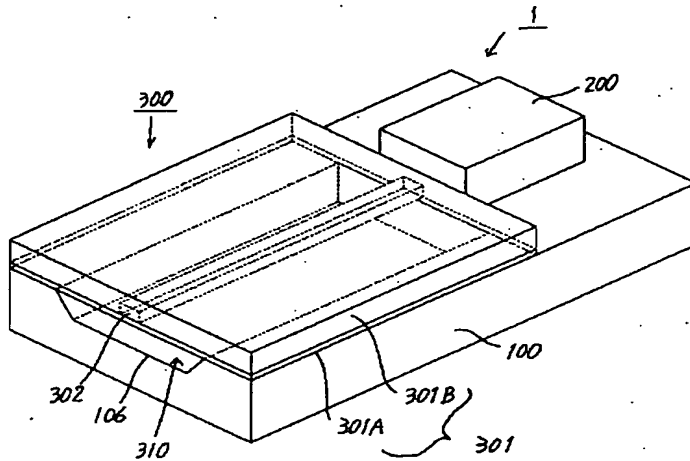
ポリイミドによるクラッド層の上にシリコン窒化膜を配置し、  
更にその上にコアを形成した光導波路（例 3、4及び 5）





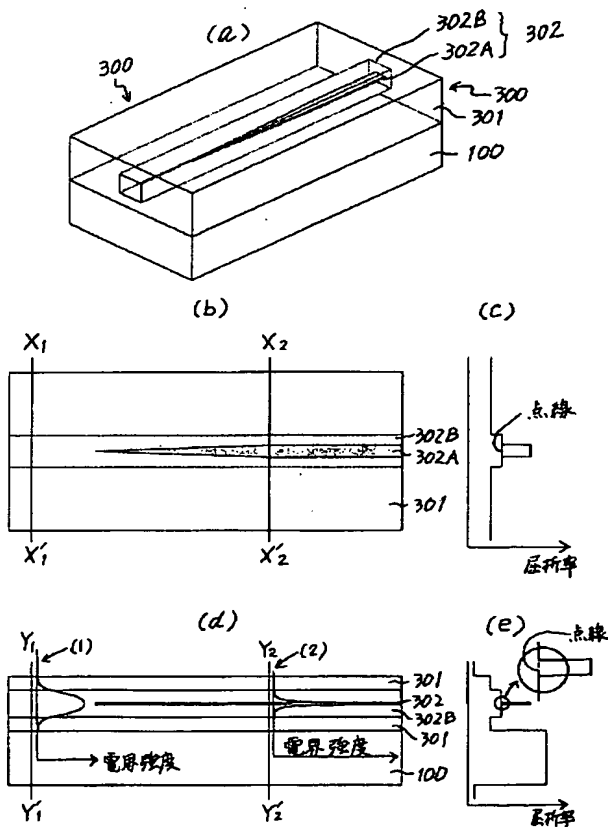
【図36】

半導体レーザとパッパ層の上に形成された光導波路（それぞれ単体）  
の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置（例10）



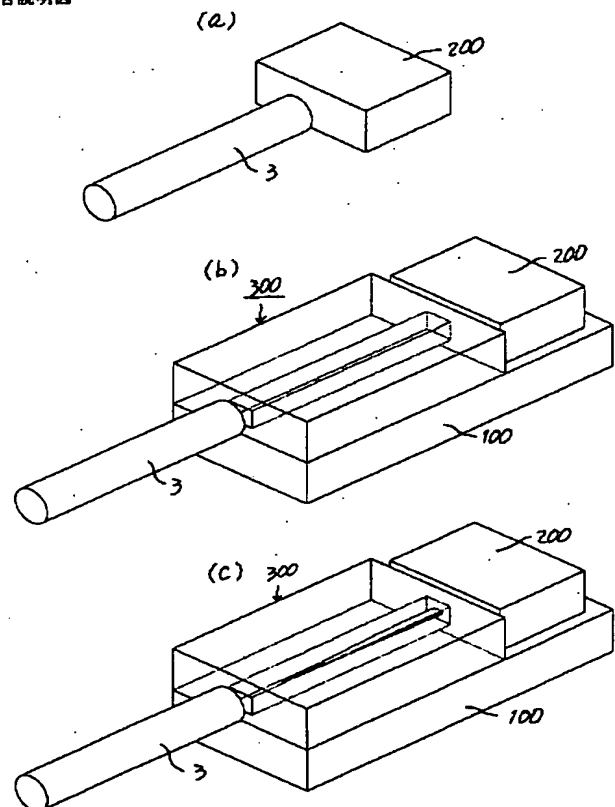
【図37】

伝搬するに伴い、光のスポットサイズが変化する単体の光導波路（例1）



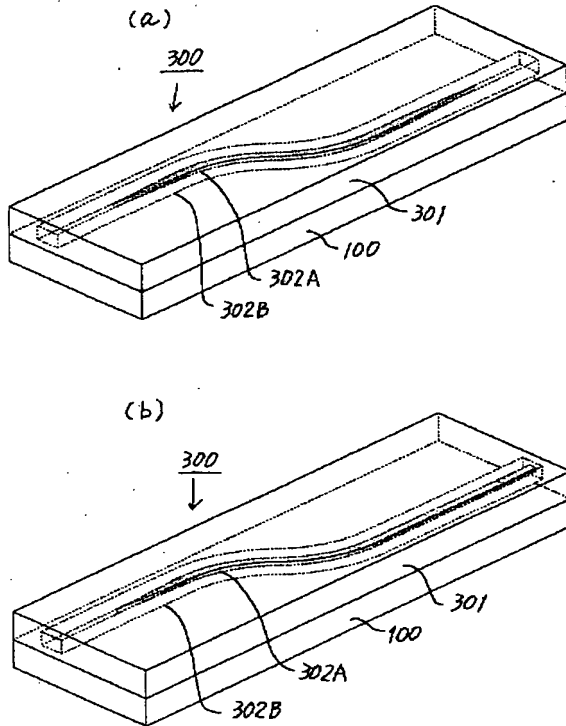
【図38】

半導体レーザの出力を直接光ファイバに導入する場合と光導波路を介して導入する場合とその光導波路が光スポットサイズを変化させる場合の光結合説明図



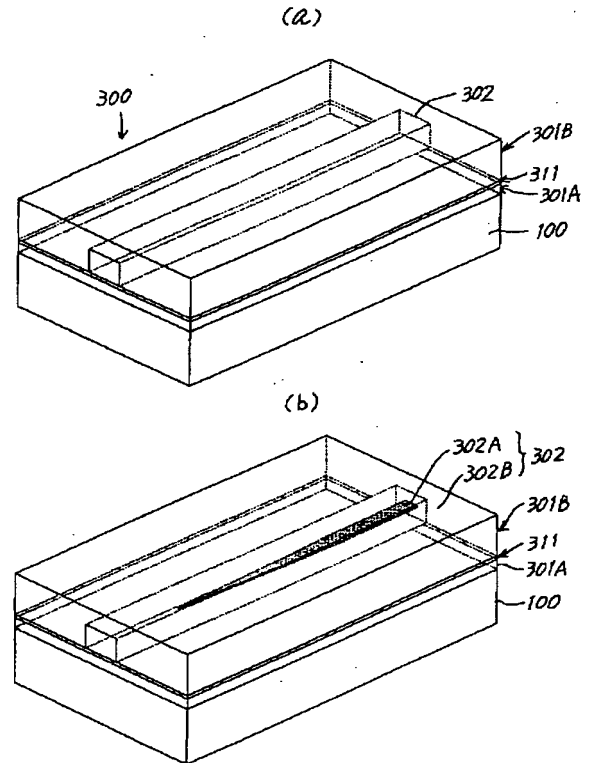
【図 42】

主コアと副コアを有する単体の曲がり導波路を含む光導波路



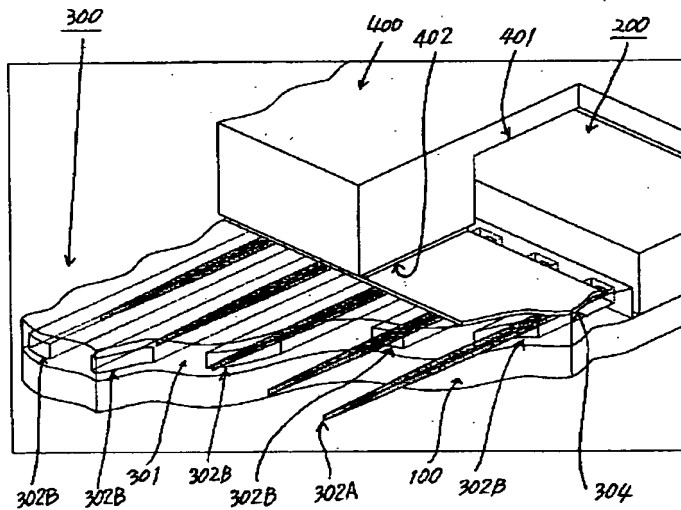
【図 44】

ポリイミドによるクラッド層の上にシリコン窒化膜を配置し、  
更にその上にコアを形成した光導波路（例 1 及び例 2）



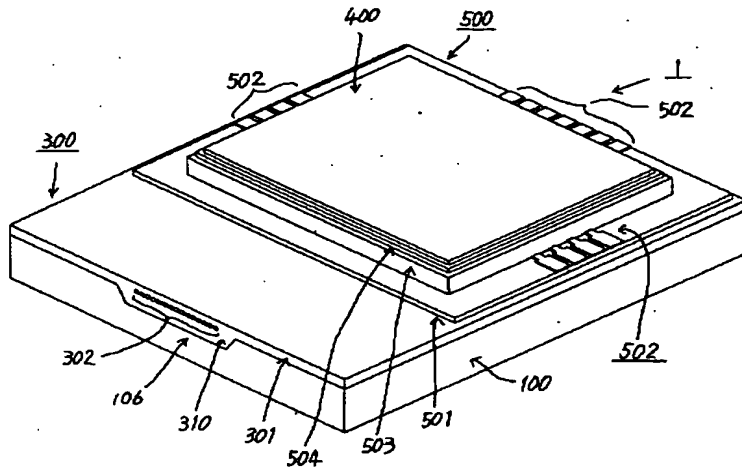
【図 46】

図10の実施例の光導波路に複合コアを適用した実施例



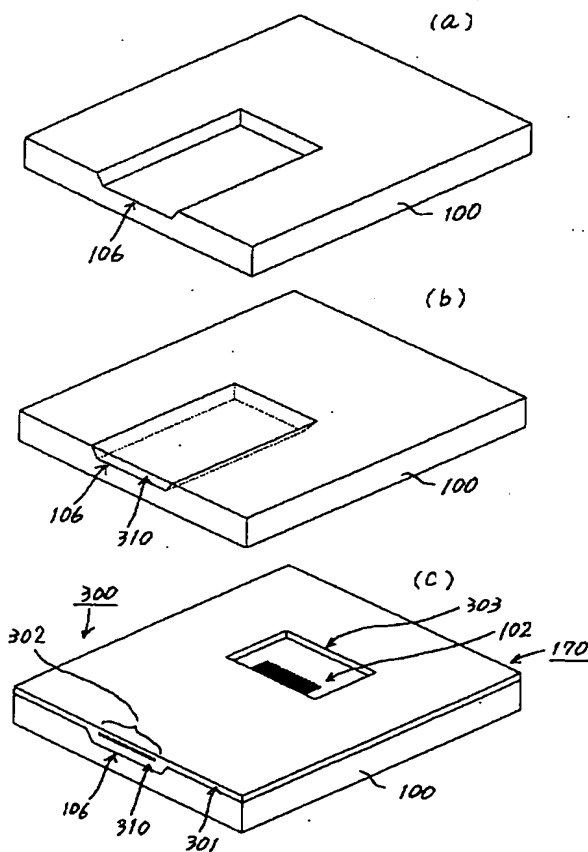
【図47】

図10または図11の気密封止の光結合装置に、電気的接続  
端子用の電気配線パターンを適用した実施例



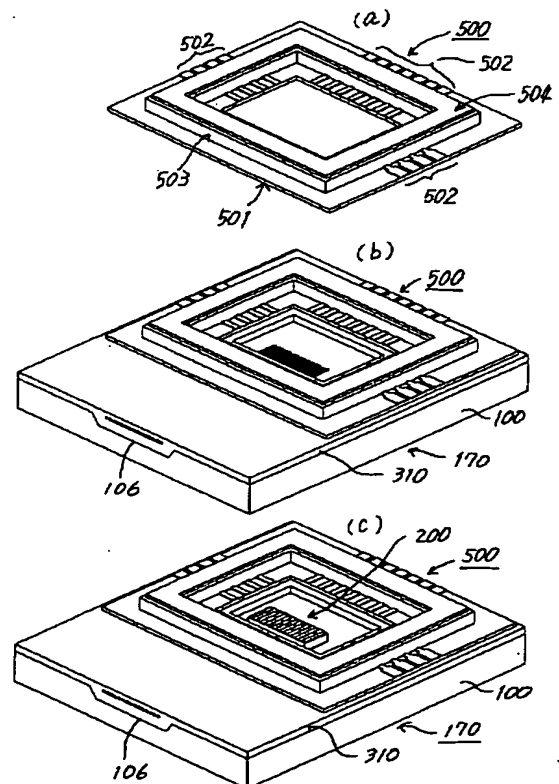
【図48】

図47の電気封止をした光結合装置の製造工程を示す図（その1）



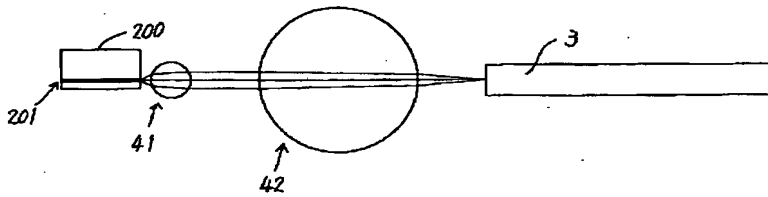
【図49】

図47の電気封止をした光結合装置の製造工程を示す図（その2）



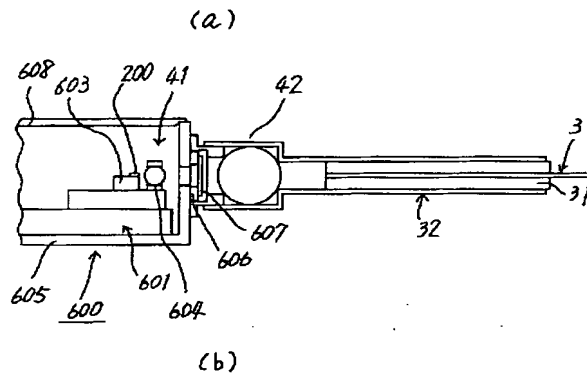
【図50】

半導体レーザと光ファイバをレンズを用いて光結合させた従来の光結合装置



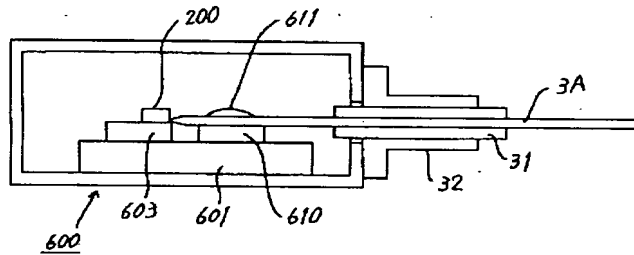
【図51】

気密封止をした光半導体レーザと光ファイバをレンズを用いて光結合させた従来の光結合装置



【図53】

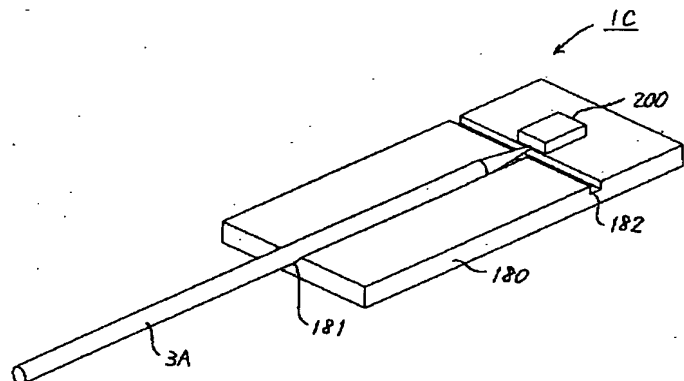
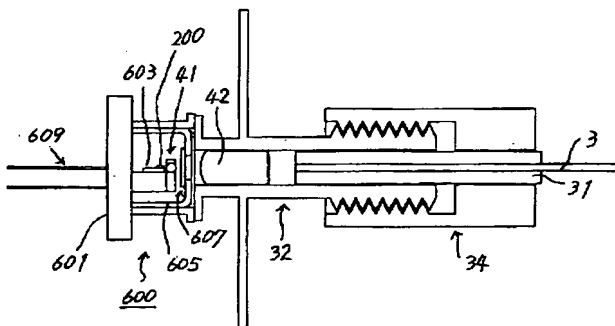
図52の半導体レーザを気密封止した従来の光結合装置



(b)

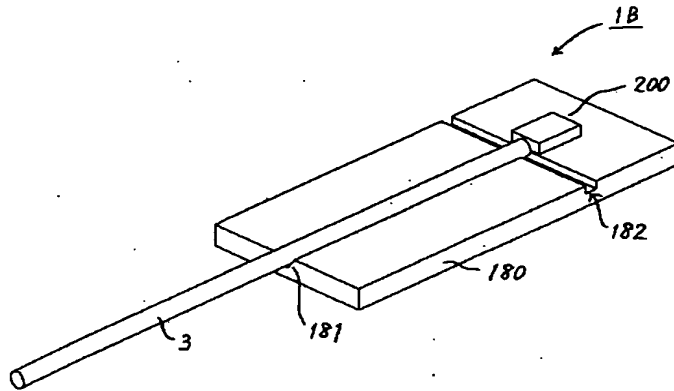
【図55】

図54の光ファイバにテーパ先端ファイバを用いて結合効率の向上を図った従来の光結合装置



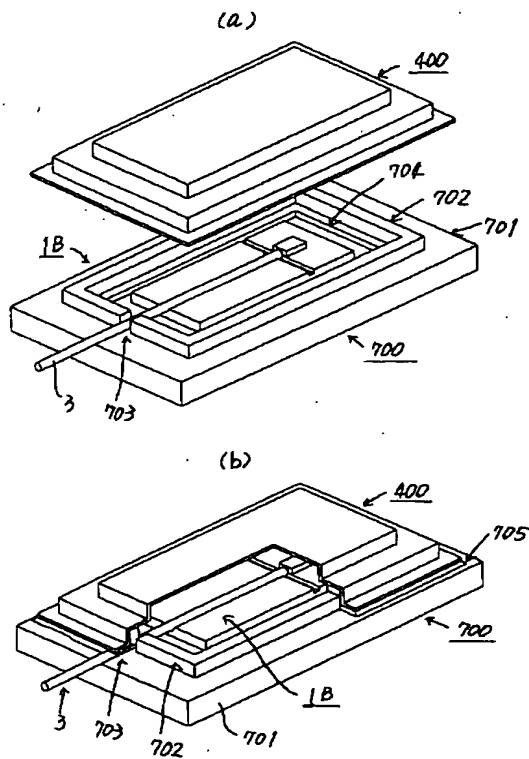
【図54】

半導体レーザと光ファイバの位置合わせを簡品化する構造を有する従来の光結合装置



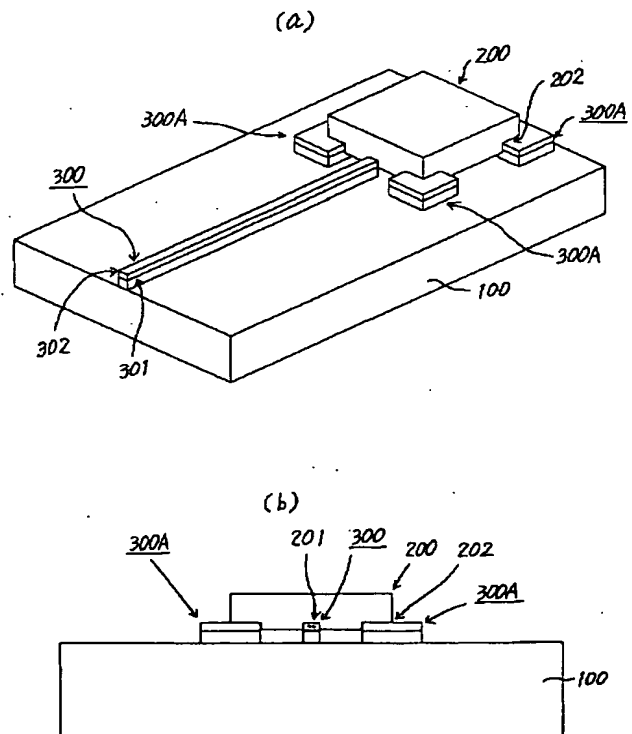
【図56】

図54あるいは図55の半導体レーザを気密封止した従来の光結合装置



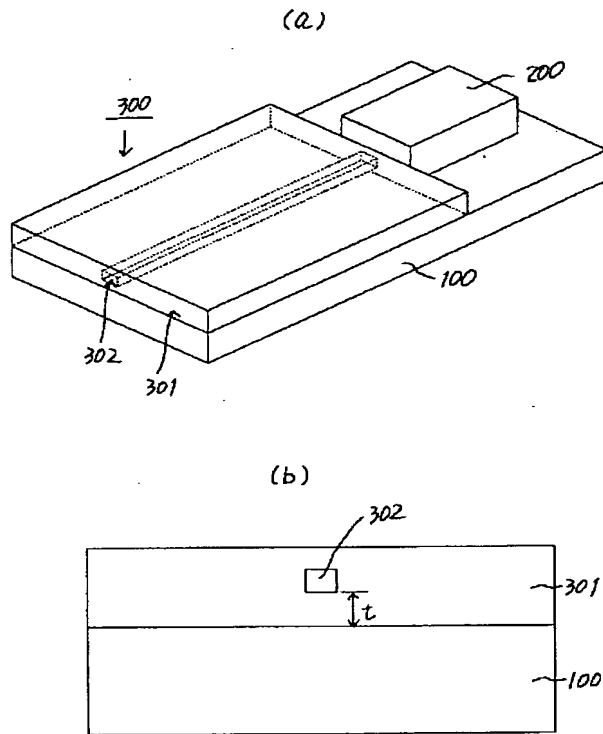
【図57】

マルチモード光導波路を適用した従来の光結合装置



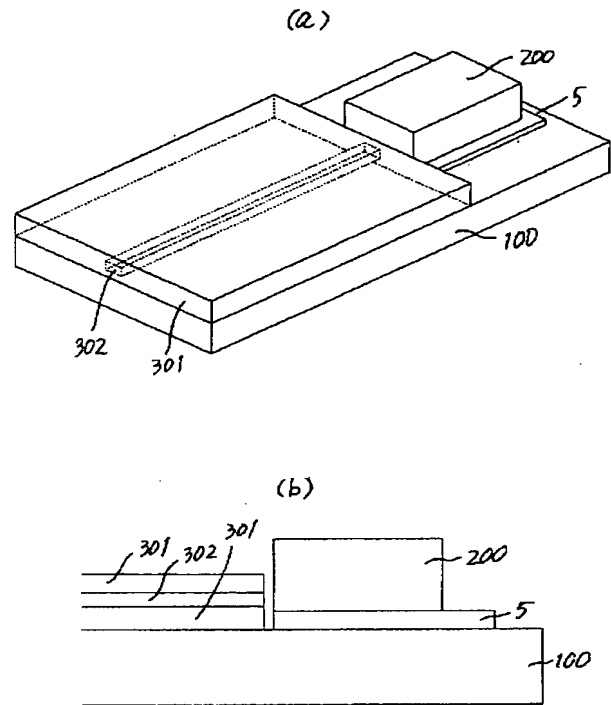
【図 58】

シングルモード光導波路を適用した従来の光結合装置



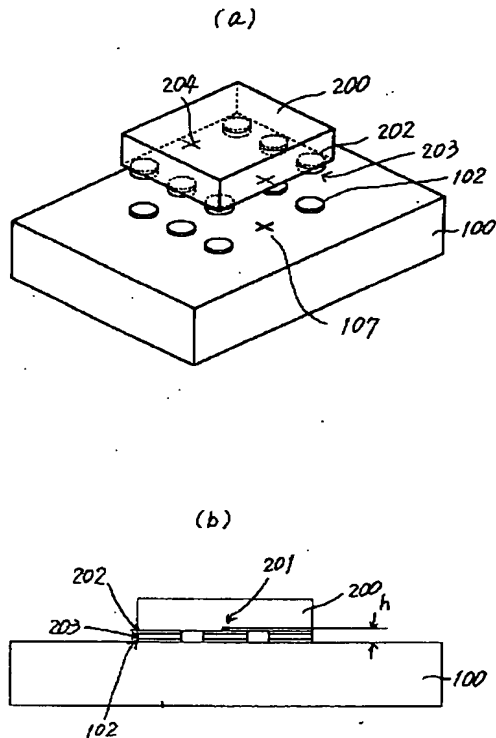
【図 59】

半導体レーザの光軸を持ち上げて半導体レーザと  
シングルモード光導波路を結合させた従来の光結合装置



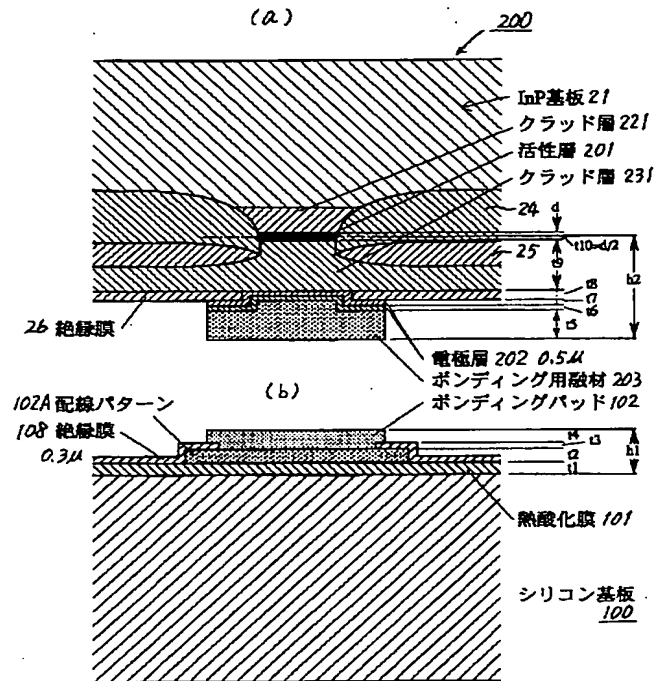
【図60】

微動接合を用い、マークを利用して半導体レーザを基板に  
実装することを示す実装説明図



【図61】

半導体レーザをクリップチップボンディングするときの  
半導体レーザ及び基板の従来の構成図及びその寸法図



## 【手続補正書】

【提出日】平成9年10月9日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】光結合装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の要素部品が第1の間隔で複数個配列された第1の光部品と、第2の要素部品が第2の間隔で複数個配列された第2の光部品とを、第1の要素部品の各々と第2の要素部品の各々が対向するよう基板上に配置し、該第1の間隔と該第2の間隔に差があることを特徴とする光結合装置。

【請求項2】 第1の要素部品が、高屈折率のコアを低屈折率のクラッド層で取り囲んだ構造を有する光導波路であることを特徴とする請求項1に記載の光結合装置。

【請求項3】 該基板上の一部に窪みを有し、当窪みに、その表面が基板表面と同じ高さになるように該第1

要素部品の該光導波路のクラッド層の一部分が埋め込まれていることを特徴とする請求項2に記載の光結合装置。

【請求項4】 該基板表面の一部に窪みを有し、当窪みに、その表面が基板表面と同じ高さになるように前記クラッド層と同じかそれより低い屈折率を有するバッファ層が埋め込まれており、且つ、該バッファ層の上に該第1要素部品の該光導波路を設けたことを特徴とする請求項2に記載の光結合装置。

【請求項5】 該基板の表面に該第1要素部品の該光導波路のクラッド層と同じかそれより低い屈折率を有するバッファ層が形成され、該バッファ層の表面に該光導波路を設けたことを特徴とする請求項2に記載の光結合装置。

【請求項6】 該バッファ層の表面に該第2の光部品を載置していることを特徴とする請求項5に記載の光結合装置。

【請求項7】 該バッファ層が無機材料、該光導波路のクラッド層及びコアが有機材料で形成されていることを特徴とする請求項4あるいは5に記載の光結合装置。

【請求項8】 該コアの該バッファ層側にあるアンダークラッド層、該コアの上側にあるオーバークラッド層を有機材料で構成し、該バッファ層とアンダークラッド層との間に無機材料の薄膜を挟み込むことを特徴とする請求項5あるいは6に記載の光結合装置。

【請求項9】 基板上の窪みに埋め込まれたバッファ層又はクラッド層が有機材料であることを特徴とする請求項3または4に記載の光結合装置。

【請求項10】 基板上に、互いに対向して載置された少なくとも一つの光導波路と少なくとも一つの光部品とを有し、該光導波路をいずれかの方向に伝播する光の光軸に垂直な断面の光分布の広がり、該光部品に対向する端面側では小さく、その反対側の端面に近づくに従って大きくなるか、又は該光部品に対向する端面側では大きく、その反対側の端面に近づくに従って小さくなる機能を有することを特徴とする光結合装置。

【請求項11】 該光導波路の構造が、少なくともその一部に、相対的に高屈折率で且つ光軸方向に進むに従いその断面積又は断面の形状が変化する部分を有する主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つ該光導波路のクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有するものであり、更に該複合コアの周囲が該クラッド層で取り囲まれたものであることを特徴とする請求項10に記載の光結合装置。

【請求項12】 該光導波路が、少なくともその一部に、相対的に高屈折率で且つ光軸方向に進むに従いその断面積又は断面の形状が変化する部分を有する主コアを、該主コアより低屈折率で且つ該光導波路のクラッド層より高屈折率の副コアで上下又は左右の2方向からサンドイッチ状に挟み込んだ構造の複合コアを有するものであり、更に該複合コアの周囲を該クラッド層で取り囲んだ構造を有することを特徴とする請求項10に記載の光結合装置。

【請求項13】 光軸方向に進むに従い該副コアの断面積又は断面の形状が変化する部分を有することを特徴とする請求項11または12に記載の光結合装置。

【請求項14】 基板上に、少なくとも一カ所の曲がり部と該曲がり部の両端から伸びる二つの直線部とを具備した第1の光部品である光導波路と該光導波路直線部の一端に対向して載置された第2の光部品とを有し、少なくとも該光導波路曲がり部分が、相対的に高屈折率の主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有するもので、且つ該複合コアの周囲が該クラッド層で取り囲まれたものであり、且つ該光導波路の少なくとも一つの直線部の一部に、主コアを含まない構成の光導波路部を有していることを特徴とする光結合装置。

【請求項15】 基板上に、相対的に高屈折率のコアを相対的に低屈折率のクラッド層で取り囲んだ構造で且つ少なくとも一カ所の曲がり部と該曲がり部の両端から伸

びる二つの直線部とを具備した第1の光部品である光導波路と、該光導波路の直線部の一端に対向して載置された第2の光部品とを有し、少なくとも該光導波路の直線部のうちの曲がり部から離れた領域のコアの断面積が曲がり部よりも相対的に小さくなっていることを特徴とする光結合装置。

【請求項16】 該光導波路のクラッド層、副コア、主コアの少なくとも1層を有機物の層とすることを特徴とする請求項11、12、13あるいは14に記載の光結合装置。

【請求項17】 該光導波路の主コアに無機材料を副コアに有機材料を使用することを特徴とする請求項11、12、13あるいは14に記載の光結合装置。

【請求項18】 互いに接している有機物材料の層間に、更に無機材料の薄膜を追加して積層したことを特徴とする請求項9、16あるいは17に記載の光結合装置。

【請求項19】 該光導波路を伝播する光の光軸に垂直な断面の光分布の広がり、該第2の要素部品に対向する端面側では小さく、その反対側の端面に近づくに従って大きくなるか、又は該第2の光部品に対向する端面側では大きく、その反対側の端面に近づくに従って小さくなる機能を有することを特徴とする請求項2、3、4、5、6、7、8あるいは9に記載の光結合装置。

【請求項20】 該光導波路の構造が、少なくともその一部に、相対的に高屈折率で且つ光軸方向に進むに従い該光導波路を伝播する光ビームのスポットサイズが変化するようにその断面積又は断面の形状が変化する部分を有する主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有するものであり、更に該複合コアの周囲がクラッド層で取り囲まれたものであることを特徴とする請求項19に記載の光結合装置。

【請求項21】 該光導波路が、少なくともその一部に、相対的に高屈折率で且つ光軸方向に進むに従い該光導波路を伝播する光ビームのスポットサイズが変化するようにその断面積又は断面の形状が変化する部分を有する主コアを、該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで上下又は左右の2方向からサンドイッチ状に挟み込んだ構造の複合コアを有するものであり、更に該複合コアの周囲をクラッド層で取り囲んだ構造を有するものであることを特徴とする請求項19に記載の光結合装置。

【請求項22】 該光導波路が、少なくともその一部に、光軸方向に進むに従い該光導波路を伝播する光ビームのスポットサイズが変化するように該副コアの断面積又は断面の形状が変化する部分を有することを特徴とする請求項20あるいは21に記載の光結合装置。

【請求項23】 該第1の要素部品に、少なくとも一カ所の曲がり部と該曲がり部の両端から伸びる二つの直線部とを具備した光導波路が含まれ、且つ該第2の要素部品が該光導波路直線部の一端に対向して載置された構成



を有し、少なくとも該光導波路の曲がり部が、相対的に高屈折率の主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有するもので、且つ該複合コアの周囲がクラッド層で取り囲まれたものであり、且つ該光導波路の少なくとも一つの直線部の一部に、該主コアを含まない構成の光導波路部を有していることを特徴とする請求項2、3、4、5、6、7、8または9に記載の光結合装置。

【請求項24】 該第1の要素部品に、相対的に高屈折率のコアを相対的に屈折率のクラッド層で取り囲んだ構造で且つ少なくとも1カ所の曲がり部と該曲がり部の両端から伸びる二つの直線部とを具備した光導波路が含まれ、且つ該第2の要素部品が該光導波路の直線部の一端に対向して載置された構成を有し、少なくとも該光導波路の直線部のうちの曲がり部から離れた領域にコアの断面積が曲がり部よりも相対的に小さくなっている光導波路部を有していることを特徴とする請求項2、3、4、5、6、7、8または9に記載の光結合装置。

【請求項25】 該光導波路のクラッド層、副コア、主コアの少なくとも1層を有機物の層とすることを特徴とする請求項20、21、22あるいは23に記載の光結合装置。

【請求項26】 該主コアに無機材料を該副コアに有機材料を使用することを特徴とする請求項20、21、22あるいは23に記載の光結合装置。

【請求項27】 互いに接している有機材料の層間に、更に無機材料の薄膜を追加して積層したことを特徴とする請求項25あるいは26に記載の光結合装置。

【請求項28】 該基板が該光導波路を伝播する光に対して透明で且つ該光導波路のクラッド層より低屈折率な材料であることを特徴とする請求項2、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26または27に記載の光結合装置。

【請求項29】 上下方向を除く周囲が光導波路形成部材で取り囲まれた空孔内に該第2の光部品が配置されており、該空孔の下方及び上方を塞ぐように形成された該基板及び蓋用部材により該空孔内に該第2の光部品が気密封止されていることを特徴とする請求項2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26、27または28に記載の光結合装置。

【請求項30】 リング状の絶縁物を基体とする部材で、該リング状の基体をリングの内側から外側に貫通する電気配線パターンを有する電気配線部材を、該リング状の基体の底面が該光導波路形成部材の該空孔の外周部に接し且つ該リング状の基体の上面に該蓋用部材が接するように該光導波路形成部材と該蓋用部材との間に配置し、該第2の光部品を気密封止するとともに該第2の光部品に接続した電気配線パターンを外部に取り出すことを特徴とする請求項29に記載の光結合装置。

【請求項31】 該光導波路部材の表面の該空孔の周囲

にリング状の金属部材を接着させ、該金属部材の表面に該蓋用部材又はリング状の基体を接着させることにより前記気密封止をすることを特徴とする請求項29または30に記載の光結合装置。

【請求項32】 該光導波路が、少なくとも該リング状の金属部材の下側部分については、相対的に高屈折率の主コアの周囲を該主コアより低屈折率で且つクラッド層より高屈折率の副コアで取り囲んだ複合コアを有し且つ該複合コアの周囲をクラッド層で取り囲んだものであることを特徴とする請求項31に記載の光結合装置。

【請求項33】 該第1の間隔と該第2の間隔の差が、該第1の要素部品と該第2の要素部品とをそれぞれ単独に光結合する場合の結合トレランスの2倍以内であることを特徴とする請求項1に記載の光結合装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ通信あるいは光情報処理に用いる光装置に関し、特に光半導体レーザ等の光半導体素子とシングルモード光導波路又は光半導体レーザ等の光半導体素子とシングルモード光ファイバを光結合する光結合装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】二つ以上のシングルモード型の光部品を高効率に光結合させるには、二つの部品間のモード整合を行うとともに精密な光軸の位置合わせが必要である。ここでモード整合とは、互いに光結合すべき二つのシングルモード型の光部品内に閉じ込められた光の強度分布（モードサイズとも言う）を、二つの光部品間で一致させることである。このような二つの部品間のモード整合及び精密な光軸の位置合わせをするための従来の技術には、例えば図50～図59に示すようなものがある。

【0003】図50は、半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ3をレンズ41、42を用いて光結合するもので、第1のレンズ41で光ビームを平行にし、第2のレンズ42で収束させて光結合するものである。二つのレンズを用いることによって、半導体レーザ等の光半導体装置200から出力される光ビームのスポットサイズ（ $1.2\mu\text{m} \times 1.7\mu\text{m} \sim 2.1\mu\text{m} \times 3.2\mu\text{m}$ ）を4～6倍程度まで拡大し、光ファイバ3のモードサイズ（約 $10\mu\text{m}$ ）に整合させるものである。かかる第1のレンズ41及び第2のレンズ42で光半導体装置と光ファイバのモードを整合させることにより高い結合効率が得られる。

【0004】更に、図51(a)あるいは図51(b)に示すように、第1のレンズ41と第2のレンズ42の間に封止用窓607を介在させて半導体レーザ等の光半導体装置200を気密封止し、光半導体装置200が湿気や酸化等により劣化することを防止している。ここに600は気密封止部、601は基体、603は半導体レーザのサブマウント、606は封止用スペーサ、31は光ファイバ3を保持するためのフェルール、32は第2のレンズ42を介して光ファイバ3と第1

のレンズ41とを結合させるファイバ結合部である。

【0005】次に図52は、先端をレンズ状に加工した光ファイバ 3A（図52に示すものはテーパ先球ファイバという。この他に光ファイバの先端を熔融させて先端にレンズ様のものを形成する方法もある。）を用いて光結合するものである。光ファイバの先端を細くしかつ球面状にすると、光ファイバの入射端における光ビームのサイズが小さくなる。その結果、光ファイバと半導体レーザのモードサイズが一致し結合効率が向上する。

【0006】図53は図52に例示した結合系において半導体レーザを気密封止する例を示すものである。真空蒸着等により表面に金属被覆（図示せず）を施した光ファイバ 3Aを半田611等を用いてブロック610に固定し、光ファイバ 3Aを保持したフェルルール31を保持するための部材32のフランジと、封止部600との境界部を溶接して気密封止する。

【0007】ここに、図50、図51(a)及び図51(b)の場合には半導体レーザ等の光半導体装置200と二つのレンズ41、42と光ファイバ3を、図52及び図53の場合には半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ 3Aを極めて精密に位置合わせする必要がある。その際、その位置合わせには高い精度が要求される。そのため、例えば光半導体装置200が半導体レーザである場合には、半導体レーザを発光させ、光ファイバ 3 あるいは3Aに結合した光の強度を計測し、それが最大となるように位置合わせを行い、固定する。

【0008】図54は、半導体レーザ等の光半導体装置と光ファイバの位置合わせを簡易化する例である。例えば実装用基板180に、その表面にフォトリソグラフィプロセスによってV溝181とボンディングパッド（例えば図60に例示の102）と位置合わせ用マーク（例えば図60に例示の107）を形成したシリコン基板等を用い、この基板180上のV溝181で光ファイバ 3 をガイドして位置決める。一方、半導体レーザ等の光半導体装置200には、基板上の位置合わせマークに対応するマーク（例えば図60に例示の204）と基板180上のボンディングパッドに対応するボンディングパターン（例えば図60に例示の202、203）を形成したものを用いる。そして、精密な微動装置を用いて半導体レーザ等の光半導体装置200の位置合わせマーク（例えば図60に例示の204）が基板上の位置合わせマーク（例えば図60に例示の107）に一致するように位置合わせし、ボンディングする（これは、例えば「IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, HYBRIDS, AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, VOL. 15, NO. 6, p. 944-955 (1992)」、「1993年電子情報通信学会秋季大会講演論文集 4-266」等に記載されている）。このようにすることにより、半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ3の位置合わせが行われる。なおここで、図54に例示した光結合装置に1Bという記号を付し、これを以下の説明に引用する。

【0009】図54に示す従来例において、光半導体装置200が半導体レーザである場合には、例えば、図55のように、光ファイバにテーパ先球ファイバ 3Aを用いると、光ファイバ 3Aと半導体レーザ200のモードサイズが一致し、結合効率が向上する。

【0010】図56は、図54あるいは図55のような結合系において、半導体レーザ等の光半導体装置を気密封止する例を示すものである。ここに図56(a)は気密封止をする前、図56(b)は封止をした後の構成を示すものである。

【0011】図56に示す装置の気密封止は次のようにして行われる。まず、半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ3を結合した光結合装置1Bを、一部に切り欠き703がある突起枠702を有する基体700上に配置する（図56(a)）。次いで突起枠702の上側及び周囲にエポキシ系の接着剤705を塗布する。次いで蓋400をかぶせ、蓋400と基体700の間の隙間を接着剤705で埋め込んで気密封止する（図56(b)）。

【0012】次に他の従来例について説明する。図57は光部品に光導波路を含み、該光導波路と他の光部品を光結合する例を示すものである。図57(a)は斜視図、図57(b)は図57(a)の左下方向から見た前面正面図である。本例では、基板100上にクラッド層301とコア302よりなる2層構造の光導波路300と同じ光導波路部材よりなる突起物300A（以下これを「スタンドオフ」という）を形成し、4隅に切り欠き202を形成した光半導体装置200をスタンドオフ300Aに嵌め込み、位置合わせを行っている。

【0013】なお、本例の光導波路300はマルチモード導波路であり、そのクラッド層301の厚さは50 $\mu$ m以上である。図57に示すような光結合装置においては、半導体レーザ等の光半導体装置200の4隅の切り欠き202を精度よく形成することが困難になる問題がある。

【0014】次に、光導波路に、図57に示すようなマルチモード導波路ではなくシングルモード光導波路を用いる場合は図58に示すような光導波路が用いられる。図58の従来例では、例えば、基板100にシリコン基板が用いられ、導波路300のクラッド層301とコア302に石英が用いられる（図58のクラッド層301はコア302の周囲を覆うものであるため「クラッド層301」と言うよりも「クラッド301」のほうがふさわしいが、用語を統一するため「クラッド層301」とする。以下同じ。）。

【0015】この場合、コア302とクラッド層301の屈折率差[コア(屈折率 $n_1$ )とクラッド(屈折率 $n_2$ )の屈折率の比屈折率差をクラッドの屈折率で割った値の百分率、即ち $\{(n_2 - n_1) / n_1\} \times 100$ ]を0.3%~0.75%とし、コア302のサイズを $5 \times 5 \mu\text{m} \sim 8 \times 8 \mu\text{m}$ 程度とすれば光ファイバと光結合したとき比較的高い結合効率が得られる。この場合の基板とコアの間のクラッド層の厚さ（図58(b)の $t$ ）は30 $\mu$ m以上である。

【0016】なお図58に示すような方法を用いて光導波

路300と光半導体装置200を結合する場合、光半導体装置200が通常の半導体レーザである場合には半導体レーザ200の光軸を持ち上げる必要がある。そのための構成として、図59に示すように半導体レーザ200の下にスペーサ5を置くことがある。

【0017】以上のように従来においては、レンズによるモード整合や先端をレンズ状に加工した光ファイバによるモード整合を行うとともに、光ファイバの場合に微動装置による精密な位置合わせ（図51、図53の場合）や基板上の溝による光ファイバの位置合わせ（図54～56）や、半導体レーザを基板に実装する場合に微動装置を用いて基板と半導体レーザのマークを一致させる半導体レーザの位置合わせ（図60）が行われ、光導波路の場合にスタンドオフと切り欠きによる位置合わせが行われ、光導波路と半導体レーザの光軸の高さ合わせにスペーサの使用等が必要であった。

#### 【0018】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図50～図56に示す従来例には次のような問題がある。まず、図50～図53の場合には、半導体レーザ等の光半導体装置200とレンズ41、42と光ファイバ3あるいは光半導体装置200と光ファイバ3を非常に精密に位置合わせする必要がある。そのため、光部品の位置合わせに多くの時間を要する。また、位置合わせの間、半導体レーザ等の光半導体装置200を能動状態（例えば半導体レーザを発光させる）にしているため、誤操作等により半導体レーザ等の光半導体装置を劣化させたり破壊したりする問題がある。

【0019】次に図54～図56に示すものは、半導体レーザ等の光半導体装置を能動状態にする必要が無いという利点を有する。しかし、光結合効率を一定以上（例えば最大値の80%以上）に保持させる位置ずれの許容値（この位置ずれの許容値を結合トレランスという）が図55のように先端にレンズ機能を持たせた光ファイバ3Aを用いる場合には $0.5\mu\text{m}$ 以下、図54のように先端が平らな光ファイバ3を用いる場合でも $\pm 1\mu\text{m}$ 以下の小さなものになる。そのため、機械的に位置合わせすることは容易ではないという問題がある。特に、半導体レーザ等の光半導体装置200をボンディングする際、光ファイバ3をガイドする溝181と半導体レーザ等の光半導体装置200との軸ずれを所定値以下にすることが困難になるという問題がある。更に、図54の場合には半導体レーザ等の光半導体装置200と光ファイバ3とのモード不整合が大きくなり、結合損失が大きくなる（結合損失は最小でも7dB程度になる）という問題がある。

【0020】図57の光導波路300と半導体レーザ等の光半導体装置200の光結合においては、光半導体装置200の4隅の切り欠き202を精度よく形成することが必ずしも容易ではないという問題がある。

【0021】次に図58のように、基板100に、シリコン

基板など、導波路材料（具体的には石英）よりも高屈折率のものを用いる場合には、基板100への光の放射を低減させるためコア302の下側のクラッド層301を厚いものにする必要がある。例えば例示した構造（比屈折率差が0.3%～0.75%、コアのサイズが $5\times 5\mu\text{m}\sim 8\times 8\mu\text{m}$ ）の場合には、前述の通り下側のクラッド層を $30\mu\text{m}$ 以上にしなければならない。このことは図57のような光導波路を用いる場合においても同様である。そのため、図57や図58に例示する光導波路と半導体レーザの光結合においては、両者の光軸の高さの一致が難しくなる問題がある。このことを明確にするため、次に図60に従来の半導体レーザのボンディング法の例を、次いで、図61に半導体レーザを基板上のボンディングパッドにフリップチップボンディングするときの構成とその寸法の例を示し、半導体レーザの光軸高さについて具体的に説明する。

【0022】図60は半導体レーザ200を基板100に載置する例の主要部のみを例示するものである。図60(a)は載置の一過程を示す斜視図、図60(b)は載置後の正面図である。図60(a)に例示するように、半導体レーザ200の下側表面のボンディングパッド205を形成し、形成されたボンディングパッド205上にボンディング用融材（金錫共晶合金等）203を被着させ、ボンディング用融材を挟んでボンディングパッド205を、基板上に別に形成されたボンディングパッド102に重ね、そのうえで加熱、冷却することにより、半導体レーザ200は図60(b)に示すように基板100上に接着固定される。

【0023】次に、図61は図60の方法でボンディングされようとしているシリコン基板100と半導体レーザ200の詳細な層構造を例示するものである。例えば図60(b)の中央のボンディングパッド102、ボンディングパッド202、ボンディング用融材203付近を拡大したものである。図61を用いて、各部分の具体的な寸法を求める。例えば、配線パターン102Aの厚さが $0.3\mu\text{m}$ 、絶縁膜108の厚さが $0.3\mu\text{m}$ 、ボンディングパッド102の厚さが $0.35\mu\text{m}$ 、ボンディング用融材203の厚さが $2\sim 6\mu\text{m}$ 、ボンディングパッド202の厚さが $0.5\mu\text{m}$ 、絶縁膜26の厚さが $0.3\mu\text{m}$ 、クラッド層231の厚さが $1.5\mu\text{m}$ 、能動領域層（図では活性層と記載）201の厚さが $0.14\mu\text{m}$ である。この場合には、基板の熱酸化膜101の表面から半導体レーザの活性層201の中心までの高さは $5.32\sim 9.32\mu\text{m}$ になる。

【0024】このように、半導体レーザ200の光軸の高さ（ $5.32\sim 9.32\mu\text{m}$ ）は光導波路のコアの中心の高さ（約 $33\mu\text{m}$ ）に比べて極めて低いものである。このため、図57および図58の従来例においては、半導体レーザ200を基板100に直接ボンディングして光結合する場合には、半導体レーザ200の光軸と光導波路300の光軸と高さを一致させることが困難になる問題を生ずる。

【0025】ここで、図59のように半導体レーザの下にスペーサ5を置くことによって半導体レーザ200の光軸

と光導波路300の光軸と高さを一致させることが考えられる。しかしこの場合には、光導波路300の光軸が高いことに起因してスペーサ5と光導波路300の加工誤差による位置ずれが大きくなる問題を生ずる。即ち、スペーサ5と光導波路300の加工誤差による位置ずれの大きさは両方の光軸の高さに比例するので、図58(b)のように光導波路300の光軸高さ  $t$  が高くなると誤差寸法が大きくなり、ずれが大きくなる問題を生ずる。具体的には、スペーサ5の加工誤差と光導波路300の加工誤差が共に  $\pm 5\%$  であれば、光軸高さが  $30\mu\text{m}$  の場合には各々  $\pm 1.5\mu\text{m}$  の誤差を生じ、合計では最大  $\pm 3\mu\text{m}$  の位置ずれを生ずる。この大きなずれのため、通常の半導体レーザとシングルモードの光導波路を結合する光結合装置において、所望の結合効率が得られない不良品が多数発生する問題がある。

【0026】 以上のように図50～図53に例示される従来例においては、レンズや先端をレンズ状に加工した光ファイバによりモード整合が行われるが、光半導体素子を能動状態にし、光出力を計測しながら精密な位置合わせをしなければならない問題があり、図54、図55、図56、図57、図58、図60に例示される従来例においては、基板上の溝による光ファイバの位置合わせやフォトリソグラフィによる光導波路の位置合わせを行い、微動装置を用いて基板と半導体レーザのマークを一致させて半導体レーザを位置合わせする方法（図54、図55、図56、図58、図60）やスタンドオフと切り欠きにより位置合わせする方法（図57）が用いられるため、位置合わせの際に光半導体素子を能動状態にする必要はなくなる。しかし、図54～図58及び図60に例示される従来例には、光半導体素子をボンディングする際の位置ずれが大きくなりやすいため光結合効率が低下しやすい問題があり、図57及び図58に例示される従来技術には、光半導体素子と光導波路の光軸の高さを一致させることが難しい問題があり、図54、図56、図58、図59に例示される従来技術には半導体レーザと光ファイバあるいは半導体レーザと光導波路のモード不整合が生じる問題があった。

【0027】 従って、本発明は上記従来の光結合装置の持つ問題を解決することを課題としており、特に、光半導体素子等の能動素子を能動状態にすることなく位置合わせして光結合する場合に、光半導体素子の位置合わせに非常に高い精度が要求されるという問題の解決、光半導体チップと光導波路を光結合する場合に光軸の高さを一致させることが難しくなるという問題の解決、光結合の際の位置合わせを簡易化しようとする場合に光半導体素子と光導波路あるいは光半導体素子と光ファイバのモードを整合させることが困難になるという問題の解決を課題とする。

【0028】

【課題を解決するための手段】 上記課題を解決するための手段の構成及び動作の要旨は次の通りである。手段1

及び2は、半導体レーザ等の光半導体素子を能動状態にすることなく本発明の光結合装置（以下本光結合装置とする）の製作過程の位置合わせのみにて光結合させることができ、且つその位置合わせに高精度の光学調整を行わずに高い結合効率で光半導体素子と光導波路とを光結合させることを可能にさせ、手段3～8及び手段19は、上記位置合わせにて、光半導体素子と光導波路の光軸の高さを比較的容易に一致させることを可能にさせ、手段9～12、15及び16は、上記位置合わせにて、光半導体装置と光導波路の高精度のモード整合を可能にさせ、手段13及び14は、本光結合装置の光導波路の曲がり部分における伝搬損失を低減させ、手段17は、本光結合装置の光導波路の加工を容易にさせ、手段18は、手段1を適用して使用する光導波路に更に高い光結合度を持たせ、手段20～22は、上記手段1～19を用いて作られた光半導体素子を気密封止するものであり、さらに、手段23は、本光結合装置の光半導体素子の気密封止に使用される金属部材の近傍に光導波路が配置された場合、その金属部材が近傍にあることが原因で光導波路の光伝搬損失が増加することを防ぐものである。

【0029】 以下に手段1～手段23について説明する。手段1は図1、図8、図10、図11、図13～図18、図20～図27、図29、図31、図33、図35、図46、図47及び図49(c)に例示するように、二つの要素部品の単独で光結合するトレランスを  $T_0$  として、複数の第1の要素部品の間隔が  $P_1$  である光部品（200、図1では200X）と、複数の第2の要素部品の間隔が  $P_1 + 2 \times T_0$  あるいは  $P_1 - 2 \times T_0$ （このピッチを  $P_2$  とする）である光部品（300、図1では300X）とを用い、これらを対向させて光結合するものである。例えば図1に例示するように対向させた光部品について、各々対向する要素部品間の光結合状態を計測し、最も結合度の大きい1対の要素部品を選択し、これを光結合装置として用いる。例えばアレイ状に整列した第1の要素部品200Xが半導体レーザ200、アレイ状に整列した第2の要素部品300Xが光導波路300である場合には、半導体レーザ200を発光させたときの光導波路300からの光出力が最大となる1対の半導体レーザ200と光導波路300を選択する。以下、従来例と比較しながら本手段による結合トレランスの拡大について説明する。

【0030】 図54～図58に例示する従来例は、光半導体素子を能動状態にする必要がないという点において優れたものであるが、光半導体素子の位置合わせが難しいことが問題となっていた。この従来例において、光半導体素子のみが特別にその位置決めが難しくなるのは、光半導体素子を基板に搭載するには能動的な位置合わせが不可欠であり、その際に大きなずれが生じるためである。例えば、光ファイバや光導波路の場合には、光ファイバを位置決めするための溝や光導波路パターンが形成されれば、部品を基板に搭載する際に能動的な位置合わせが不要であり、よって搭載時の位置ずれは生じない。これ

に比べ、光半導体素子の場合は、基板に搭載するときに必ずフォトリソグラフィプロセスにおけるマスク合わせのような能動的な位置合わせが必要である。この際、光半導体素子のサイズが小さいため、フォトリソグラフィプロセスに比べて大きなずれが生じる。

【0031】光半導体素子の位置合わせと光ファイバをガイドする溝や光導波路のコアパターン形成の際のフォトリソグラフィにおけるフォトマスクの位置合わせとを比較すると、光半導体素子 ( $300\mu\text{m} \times 250\mu\text{m}$ ) はフォトマスク ( $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ) 等に比べてサイズが小さい。そのためボンディングの際に光半導体素子を安定に支持することが難しく、フォトマスクのように精密に位置合わせすることが困難になる。

【0032】例えば、ボンディング装置で光半導体素子を支持した後にその位置を計測し、その計測値に基づいて位置調節をしてボンディングする方法があるが、サイズが小さいために保持する精度及び位置計測精度が悪くなり、精密な位置合わせが困難になる。また、フォトリソグラフィの場合には位置合わせをするべき二つのパターン（マスクが合わせられるべき基板上のパターンとマスクのパターン）を接近させ（例えば、ギャップが  $10\mu$  以下になるまで近接させることができる）、フォトマスク越しに二つのパターンの重なりをモニターし、位置合わせを行う。これに対し、光半導体素子はサイズが小さく、フォトマスクに比べて平坦でないため、ギャップの計測が困難である。そのため、基板に接近させることが困難である。さらに、不透明であるため、重なりをモニターすることも困難である。このため精度よく位置合わせすることが困難になる。

【0033】さらに、第2には、光半導体素子のボンディングでは固着用部材に低融点の金属が用いられ、ボンディングの際、加熱と冷却が行われるため、ボンディング装置に熱膨張と収縮が生じ、折角位置合わせを行っても、最終的な製品での光半導体装置の位置精度が低下する。

【0034】以上、基板に光半導体素子を載置する際の位置ずれは、光半導体素子のサイズが小さいことと加熱・冷却工程を含むことに起因しており、現在のところこれを著しく改良することは困難である。そこで発明者は、光半導体素子をボンディングする際の光半導体素子の位置ずれが大きくても、光結合が可能になる方法を考案した。

【0035】手段1は上記考案に基づくものであり、光半導体素子をボンディングする際の位置ずれを小さくす

る代わりに、等価的に、光半導体素子の結合トレランスを拡大するものである。以下図1を用いて具体的に説明する。

【0036】図1は手段1を説明する図である。手段1は、要素部品間のピッチが  $P_1$  の第1のアレイ状の光部品200X（以下アレイを構成している一つの部品を要素部品という）と要素部品間のピッチ  $P_2$  が  $P_1 + 2T_0$  あるいは  $P_1 - 2T_0$  の第2のアレイ状の光部品300Xを対向させることにより構成される。なお、図1においては、第1のアレイ状の光部品200Xの要素部品と第2のアレイ状の光部品300Xの要素部品とを光結合する場合の結合トレランスを  $T_0$  として、 $P_2$  が  $P_1 + 2T_0$  に等しい距離となるように第2の光部品300Xのピッチ  $P_2$  を調節している。さらに、図1はアレイ状の光部品 (200X, 300X) を構成する要素部品のうち中央の要素部品同士の光軸が一致するようにしたときの状態を示している。

【0037】第1のアレイ状の光部品200Xの要素部品と第2のアレイ状の光部品300Xの要素部品とを図1のように配列すると、互いに対向する各要素部品間の光軸の位置ずれの大きさ  $\Delta 1 \sim \Delta 11$  はそれぞれ  $-10T_0, -8T_0, -6T_0, -4T_0, -2T_0, 0, 2T_0, 4T_0, 6T_0, 8T_0, 10T_0$  になる。ここに、左から右に向かう方向を正の方向とする座標系を用い、第2の光部品の光軸の座標位置から第1の光部品の座標位置を差し引いたものを位置ずれの大きさとした。

【0038】次に表1は、図1の第1の光部品を図1の状態を基準にして、右側に  $-11T_0 \sim 11T_0$  の間の位置ずれを起こさせた場合の互いに対向する各要素部品間の光軸の位置ずれの大きさ  $\Delta 1 \sim \Delta 11$  を記載したものである。表の左端の1列（縦方向）が位置ずれの大きさ、第2列～第12列がそれぞれ  $\Delta 1 \sim \Delta 11$  の大きさを表している。

【0039】表から明らかなように、図1の状態を基準にして右側に  $-11T_0 \sim 11T_0$  の位置ずれが生じると、 $\Delta 1 \sim \Delta 11$  のいずれか1カ所では位置ずれが  $\pm T_0$  以下になることがわかる。すなわち二つのアレイ状の光部品であって、それらの要素部品の配列ピッチが  $2T_0$  だけ異なっており、共に11個の要素部品を含む二つのアレイ状の光部品を対向させることにより結合トレランスが  $\pm 11T_0$  に拡大されることになる。

【0040】

【表1】

アレイ部品1 の上図の状態 からの位置 ずれの大きさ	位置ずれの大きさ ( $\Delta_1 \sim \Delta_{11}$ )										
	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$	$\Delta_5$	$\Delta_6$	$\Delta_7$	$\Delta_8$	$\Delta_9$	$\Delta_{10}$	$\Delta_{11}$
-11T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~T <sub>0</sub>			-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	-11T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	-13T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>				-21T <sub>0</sub> ~19T <sub>0</sub>
-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$			-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	-11T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>				-19T <sub>0</sub> ~17T <sub>0</sub>
-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$		-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>				-17T <sub>0</sub> ~15T <sub>0</sub>
-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>		$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~1T <sub>0</sub>	-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>				-15T <sub>0</sub> ~13T <sub>0</sub>
-3T <sub>0</sub> ~T <sub>0</sub>	7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>			$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~T <sub>0</sub>	-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>				-13T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>
$\pm T_0$	9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>	7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>			T~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~T <sub>0</sub>				-11T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>
T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	11T <sub>0</sub> ~13T <sub>0</sub>	9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>			3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$				-9T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>
3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	13T <sub>0</sub> ~15T <sub>0</sub>	11T <sub>0</sub> ~13T <sub>0</sub>			5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>	$\pm T_0$			-7T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>
5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	15T <sub>0</sub> ~17T <sub>0</sub>	13T <sub>0</sub> ~15T <sub>0</sub>			7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>	3T <sub>0</sub> ~5T <sub>0</sub>		$\pm T_0$		-5T <sub>0</sub> ~3T <sub>0</sub>
7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	17T <sub>0</sub> ~19T <sub>0</sub>	15T <sub>0</sub> ~17T <sub>0</sub>			9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>	7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>	5T <sub>0</sub> ~7T <sub>0</sub>			$\pm T_0$	-3T <sub>0</sub> ~T <sub>0</sub>
9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>	19T <sub>0</sub> ~21T <sub>0</sub>	17T <sub>0</sub> ~19T <sub>0</sub>			11T <sub>0</sub> ~13T <sub>0</sub>	9T <sub>0</sub> ~11T <sub>0</sub>	7T <sub>0</sub> ~9T <sub>0</sub>				$\pm T_0$

【0041】一般的には、アレイ状の光部品の要素部品の数をNにすると結合トレランスはN倍に拡大する。このように、手段1を用いることにより結合トレランスが拡大され位置合わせが容易になる。

【0042】具体的な数値で示すと、例えば、図1において、第1の光部品200Xに半導体レーザアレイを用い第2の光部品300Xに光ファイバアレイを用い、要素部品間の結合トレランスを $\pm 1 \mu\text{m}$ とした場合には、第1と第2の要素部品200X、300Xの見掛け上の結合トレランスは $\pm 11 \mu\text{m}$ まで拡大される。

【0043】半導体チップをボンディングするのに用いる一般的なボンディング装置はその位置ずれ誤差は $\pm 5 \mu\text{m}$ 以下である。そのため光部品をボンディングする場合、結合トレランスが $\pm 5 \mu\text{m}$ 以上になればその位置合わせが非常に容易になる。

【0044】さらに、手段1においてはアレイ状の光部品を用いるため、光部品が長いものとなる。そのため、紙面に垂直な軸を回転中心とする方向の回転誤差の検出が容易になり、回転誤差が低減される。即ち、光半導体素子の場合、寸法が小さいため、単体の場合には上記方向の回転誤差の検出が困難になるが、アレイにすることによりその検出が容易になり、回転誤差が低減される。

【0045】このように、手段1を用いると、半導体レーザの位置合わせ精度が緩和されるとともに回転方向のずれの検出精度が向上し、位置合わせが簡単になる。手段2は図8、図10、図11、図13~図18、図20~図27、図29、図31、図33、図35、図46、図47及び図49(c)に例示するように、手段1において少なくとも一方の光部品を光導波路アレイ300にするものである。

【0046】例えば図8に例示するように光部品に光導波路300を用いると、ピッチの変更及びピッチを小さくすることが容易になる等の利点がある。さらに、アレイ状の光部品の要素部品のピッチを小さくすると小型化が可能になる利点もある。逆にサイズが同じであればアレイに含まれる要素部品の数を増やすことができ、見掛け上の結合トレランスを大きくすることが出来る。

【0047】以下、第2の光部品に光導波路を用いることにより、要素部品間のピッチの変更およびピッチを小さくすることが容易になる理由を説明する。光導波路のコアパターンはフォトリソグラフィプロセスでガラスマスク上のパターンを転写することにより形成される。そのためガラスマスクのピッチを変更して容易に導波路のピッチを変更することができる。

【0048】次に、光導波路は、そのコアサイズを、例えば $10 \mu\text{m}$ 以下に小さくすることが容易である。更にコアの形成にフォトリソグラフィプロセスを用いるので、ピッチを変更することのみでなく、ピッチを小さくすることも容易になる。例えば他の光部品として光ファイバの場合を考えると、光ファイバアレイの場合には、そのピッチを光ファイバの直径（通常 $125 \mu\text{m}$ ）より小さくすることは不可能である。しかし、光導波路は、そのピッチを $10 \mu\text{m}$ 以下にすることは極めて容易である。

【0049】更に光導波路を用いると、図37、図38(c)、図39、図40に例示するように、光導波路でスポットサイズ変換を行うことが可能になる。図38(c)に例示するように、光導波路300でスポットサイズ変換を行うと導波路の一方と他方にモードサイズが異なる光部品（図38(c)においては半導体レーザ200と光ファイバ3）を配置する場合においても、その両方でモード整合を行うことが可能になる。これについては手段9~手段12の説明でより詳しく述べる。

【0050】更に、図10、図11、図25、図26、図47に例示するように、光導波路300を、封止用の部材及び窓部材の両方を兼用する部材として用い、光半導体素子200の気密封止をすることができる。これについては手段20の説明で詳しく述べる。

【0051】以上述べた手段1と手段2は、光部品が搭載される基体の表面に平行な方向（以下これを左右方向という）について結合トレランスを拡大し、位置合わせを容易にするものである。これに対し、手段3~手段7は、光部品が搭載される基体の表面とは垂直な方向（以下これを上下方向という）について位置合わせを容易に

することを目的とするものである。手段3～手段7は、特に、光導波路の層方向の構造を改良して上下方向の光軸の位置合わせを容易にするものである。以下、手段3～7について説明する。

【0052】まず手段3の作用を説明する。手段3は図35、図47、図49(c)に例示するように、光部品と光導波路とを対向させる場合に、基板100の一部に窪み106を形成し、この窪みに少なくともクラッド層301の1部分、あるいはクラッド層301と同じ屈折率かあるいはクラッド層301よりも低屈折率のバッファ層310を埋め込んだ構成を有する光導波路300を用い、光部品200を基板の窪みの無い部分の表面に搭載するものである。本手段による光導波路300は、例えば図35、図36、図47に例示するように、基板100に形成した窪み106に、バッファ層310あるいは光導波路300のクラッド層の一部301が埋め込まれた構造となっている。ここにバッファ層310は、その屈折率がクラッド層301、301A、301Bと同じかあるいはクラッド層より小さいものである。そして、クラッド層301A、301の一部が、基板100の表面より高くなるように形成され、次いでコア302と上側のクラッド層301A、301が形成されている。さらに、図35、図36、図47の例では、光部品200は窪みの無い部分にボンディングされている。

【0053】図35、図36、図47に例示するように、手段3を用い、窪み106に埋め込まれたバッファ層310またはクラッド層301を十分厚くすると光の基板100への放射が低減されるようになる。そしてコア302の下側のクラッド層301のうち基板表面から飛び出した部分のクラッド層301A及び301の厚さとコア302の厚さを調節すると基板表面からみたコア302の中心の高さを精密に調節でき、更に基板表面からみたコア302の中心の高さを $5\sim 6\mu\text{m}$ にして基板100にボンディングされた半導体レーザ200の光軸高さに一致させることができる。よって上下方向の光軸の位置合わせも容易になる。その結果本手段（手段3）と手段1とを組み合わせると、左右方向と上下方向の両方の光軸の位置合わせが容易になる。次に手段4は、図29～図36、図47、図49(c)に例示するように、光部品と光導波路とを対向させる場合に、該光導波路300にクラッド層301よりも低屈折率のバッファ層310の上にクラッド層301とコア302を形成したものをを用いるようにするものであり、コアの下側のクラッド層（以下、これをアンダークラッド層と言う）を薄くして、光導波路作成時の製造誤差に起因する光導波路の光軸の高さ誤差を小さくしようとするものである。

【0054】例えば、図29～図32に例示するように、基板100とアンダークラッド層301Aの間にアンダークラッド層よりも低屈折率のバッファ層310を加えると導波路300のコア302にガイドされた電界分布のうち、アンダークラッド層301Aおよびバッファ層310に染みだした裾の部分の減衰が大きくなる。そのため、バッファ層310と

アンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くしても基板100に放射される光パワーを小さくすることが可能になる。その結果、バッファ層310とアンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くすることが可能になる。このようにバッファ層310とアンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くしても基板100に放射される光パワーの増加が起こらない。その結果、バッファ層310とアンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くすることが可能となる。

【0055】バッファ層310とアンダークラッド層301Aを加えた層厚を薄くすると、製造時の寸法誤差の絶対値が小さくなり、光軸の高さのずれが小さくなる。例えば図2のような構造の導波路と図4のような構造の導波路を比較し、本手段の作用を具体的に説明する。

【0056】まず、図2は従来の導波路の層構造に相当するスラブ構造導波路を例示するものである。ここに図2(a)は層構造を、図2(b)は図2(a)の点線Y-Y'に沿った屈折率分布を示すものである。また、301Aと301Bはクラッド層、302はコアである。

【0057】このような屈折率分布を有するスラブ構造の導波路クラッド層301A、301Bの屈折率が1.55、コア302の屈折率が1.558、コア302の厚さが $5\mu\text{m}$ のとき、電界強度が十分小さいもの（具体的には電界強度が最大値の $10^{-6}$ になる場合について比較する。）となるのは、コア302の下側の端から約 $28\mu\text{m}$ 離れた位置になる。そのときの電界分布は図3の(a)に示す通りであり、点P1は電界強度が最大値の $10^{-6}$ になる位置である。なお図3において(b)は屈折率分布を示すもので、縦軸の目盛りは任意である。

【0058】これに対し、光導波路の層構造を図4のようにバッファ層310を有するものとした場合の電界分布を図5に示す。ここに、図4(a)は層構造を、図4(b)は図4(a)の点線Y-Y'に沿った屈折率分布を示すもの、図5の(a)は図4の光導波路にガイドされる光の電界分布、図5の(b)は光導波路の屈折率分布（縦軸の目盛りは任意）である。また、図4において、301Aはアンダークラッド層、301Bはオーバークラッド層、302はコア、310はバッファ層である。

【0059】図4の光導波路において、アンダークラッド層の厚さを $2\mu\text{m}$ 、バッファ層を石英（屈折率は1.46）にした場合には、図5に示した電界分布の裾の部分の電界強度が図3のP1と同じになるのは、バッファ層310とアンダークラッド層301Aとの境界から $5.2\mu\text{m}$ 離れた位置（P1で指示）になる。

【0060】このように、光導波路を、アンダークラッド層301Aの下にアンダークラッド層よりも低屈折率のバッファ層310を有するものとするにより、バッファ層310における電界強度の減衰を急峻にすることができる。

【0061】以上のことは図29～図32に例示する光導波路にも当てはまり、光導波路を図29～図32に例示するような構造にすると、バッファ層310に染み出す光の電界

の強度が低下し、基板100への光パワーの放射が起こり難くなる。その結果、バッファ層310とアンダークラッド層310Aを加えた層の厚さを小さくすることができる。その結果、光導波路の製造誤差に起因する光軸の高さ誤差が低減され、位置合わせ精度が向上する。

【0062】次に手段5は、図31～図34に例示するように、光部品と光導波路とを対向させる場合に、該導波路にクラッド層301と同じ屈折率かあるいはクラッド層301よりも低屈折率のバッファ層310の上にクラッド層301とコア302を形成したものをを用い、光部品200をバッファ層310の上に搭載するのである。本手段（手段5）による光結合装置は、図31～図34に具体例を示すように、光導波路300と基板100の間に、光導波路の少なくとも一方の端面から飛び出すように形成されたバッファ層310を有する。ここに、バッファ層310は屈折率がアンダークラッド層301Aと同じかあるいはアンダークラッド層301Aより低屈折率の層である。このような光導波路を用いると、例えば、バッファ層310の光導波路の端面から飛び出した部分の上面に光部品200を定接すれば、実効的に光導波路の光軸が低くなるので、光導波路300と光部品200の高さ調節が容易になる。更に、アンダークラッド層301Aの厚さを調節して光導波路の光軸高さを調節すると、光部品と光導波路の光軸高さを精密に調節することができるようになる。

【0063】次に手段6は、図31～図34に例示するように、手段5を用いる光結合装置の光導波路のバッファ層310を無機材料（シリコンの酸化物、シリコンの窒化物、ガラスなど）にし、アンダークラッド層301Aとコア302とオーバークラッド層301Bを有機材料（ポリイミドなど）とするものである。

【0064】光導波路のクラッド301A、301Bとコア302を構成する層を有機物にすると、光導波路を形成する前に、バッファ層310の表面に、電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することが可能になる。即ち、光導波路の材料が有機物の場合には、比較的低温で、塗布工程等を用いて導波路形成を行うことができる。

【0065】光導波路を形成する前のバッファ層310の表面は平坦なので、フォトリソグラフィ工程を用いて、容易に精密な電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することができるようになる。そのため光導波路とボンディングパッドの相対的な位置合わせが容易になる。

【0066】光導波路を有機材料にすることにより、導波路の形成に酸素プラズマエッチングを用いることができる。そして、光導波路の端面の形成に酸素プラズマエッチングを用いたとき、バッファ層310の部分でエッチングが停止するため、図31または図32に例示するように光部品200を載せるために光導波路の端面から張り出したバッファ層310を形成することが容易になる。

【0067】次に手段7は、図33又は図34に例示するように、手段5を用いる光結合装置の光導波路のバッファ層310、アンダークラッド層301A、コア302及びオーバークラッド層301Bを有機材料で構成し、バッファ層310とアンダークラッド層301Aとの間に無機材料の薄膜311を挟み込むものである。

【0068】光導波路のクラッド301A、301Bとコア302を構成する層を有機物にすると、光導波路を形成する前に、薄膜311の表面に、電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することが可能になる。即ち、光導波路の材料が有機物の場合には、比較的低温で、塗布工程等を用いて導波路形成を行うことができる。

【0069】光導波路を形成する前の薄膜311の表面は平坦なので、フォトリソグラフィ工程を用いて、容易に精密な電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することができる。そのため光導波路とボンディングパッドの相対的な位置合わせが容易になる。

【0070】光導波路を有機材料にすることにより、導波路の形成に酸素プラズマエッチングを用いることができる。そして無機材料の薄膜311があれば、光導波路の張り出し面の形成に酸素プラズマエッチングを用いたとき、薄膜311の部分でエッチングが停止するため、図33または図34に例示するように光部品200を載置する張り出し面を有するバッファ層310の形成が容易になる。

【0071】次に手段8は、図35、図36、図47、図49(c)に例示するように、基板100の一部に窪み106を形成し、この窪み106に屈折率がクラッド層と同じかあるいはクラッド層よりも低屈折率のバッファ層310をその表面が基板の窪みの無い部分の表面と同じ高さになるように埋め込み、その上にクラッド層（301あるいは301A）とコア302、オーバークラッド層301Bを含む光導波路300を形成するものである。

【0072】このようにすることにより、実効的に光導波路の光軸が低くなるため上下方向の光軸の位置合わせが容易になる。さらに、光部品200がシリコン基板100上に搭載されるので、光部品200が発熱体である場合の熱放散が良好になる効果が生ずる。例えば図35に例示するように、本手段による光導波路300は基板100に形成した窪み106にバッファ層310が埋め込まれた構造となっている。本バッファ層310は無機材料であっても有機材料であってもよい。バッファ層310を埋め込んだ基板は、バッファ層310となる材料を窪み106に充填した後基板100の表面を基準面にして研削及び研磨を行い平坦化する工程をもって形成される。そしてバッファ層310の表面を平坦化したものをバッファ層付の基板として用い、ボンディングパッドと配線電極用パターンを形成する。次いで、順次アンダークラッド層301A、コア302、オーバークラッド層301Bを形成する。光部品200は、光導波路のコアに対向して、窪み106の無い部分にボンディングされる。



【0073】図35に例示するように、窪み106に埋め込まれたバッファ層310を十分厚くすると光の基板100への光の放射が防止されるようになる。そしてアンダークラッド層301Aの厚さとコア302の厚さを調節すると基板表面からみたコアの中心の高さを精密に調節できるようになる。更に基板表面からみたコアの中心の高さを5~6 $\mu\text{m}$ にして基板100にボンディングされた半導体レーザ200の光軸高さに一致させることができるようになる。よって上下方向の光軸の位置合わせが容易になる。

【0074】更に光導波路のアンダークラッド層301A、コア302、オーバークラッド層301Bを有機材料にすると、光導波路300を形成する前に、バッファ層付基板の表面に、電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することが可能になる。光導波路の材料が有機物の場合には、比較的低温で、塗布工程等を用いて導波路形成を行うことができるからである。

【0075】光導波路を形成する前のバッファ層付基板の表面は平坦なので、フォトリソグラフィ工程を用いて、容易に精密な電気配線用のパターンやボンディングパッドを形成することができるようになる。そのため光導波路とボンディングパッドの相対的な位置合わせが容易になる。

【0076】光導波路を有機材料にすることにより、導波路の形成に酸素プラズマエッチングを用いることができる。この際、酸素プラズマは金属やシリコン基板などの無機材料を侵さないで、ボンディングパッドを形成した後光導波路を形成し、次いで酸素プラズマエッチングで張り出し面を形成し、ボンディングパッドを露出させても、ボンディングパッドが侵されない利点がある。

【0077】次に、手段9~手段12は光導波路の両端の光ビームのスポットサイズが両端に結合される光部品に一致するような光導波路を用い、両端の光部品との結合効率の向上または結合トレランスを拡大するものである。以下に手段9~手段12について述べる。

【0078】まず手段9は、図37(a)、図38(c)、図39、図40、図42、図44(b)、図45、図46に例示するように、光結合装置に、入射端から出射端に向かって光が伝播すると、入射端と出射端でガイドされる光の強度分布が変化する光導波路を用いるものである。

【0079】例えば図38(c)に例示するように、本手段による光導波路300を半導体レーザ200と光ファイバ3の間に介在させ、半導体レーザ200と光結合する側のスポットの形状を半導体レーザ200と同じにし、光ファイバ3と光結合する側のスポットの形状を光ファイバ3と同じにすれば、高い結合効率で光結合できるようになる。

【0080】更に、本手段による光導波路により、光ファイバと対向する側の光導波路300の出射端のスポットサイズを大きくすると、光導波路300と光ファイバ3の間の結合トレランスの拡大も行われる。この光導波路300と光ファイバ3の間の結合トレランスの拡大は、例え

ば図38(c)に例示するように、半導体レーザ200と光導波路300を集積化実装し、導波路300と光ファイバ3を位置合わせして光結合し組立をするような光結合装置の製造に際し、ファイバの位置合わせを簡易化する効果を生ずる。

【0081】更に、図38(c)において、クラッドと副コアの屈折率差を小さくし、副コアの断面を大きなものとするれば、光ファイバ3と光結合する側の光導波路300のスポットサイズを大きなものとするのが可能になる。例えば図6のグラフ(a)は、図2のようなスラブ導波路のコアとクラッド(屈折率1.55)の比屈折率差が変化したとき、導波路にガイドされる光のスポットサイズがどのように変化するかを例示するものである。なお、コアとクラッドの比屈折率差を変化させるとコアの厚さも変化させなければならないため、図6にはコアの厚さ(グラフ(b))も同時に示している。

【0082】図2のスラブ構造の光導波路の場合の具体的スポットサイズを例示すると、比屈折率差が0.2%、コアの厚さが7.9 $\mu\text{m}$ のとき約11 $\mu\text{m}$ のスポットサイズになる。このような光導波路に、部分的にコアを拡大した光ファイバ(例えばTechnical Digest of The Second Optoelectronics conference, 3C2-2, 1988等に記載のもの。以下これを「TECファイバ」という。)を結合すると、光導波路と光ファイバの結合トレランスがより拡大されるようになる。例えばガイドされる光のスポットサイズを18 $\mu\text{m}$ まで拡大したTECファイバを用いると、約91%の最大結合効率と $\pm 3.6\mu\text{m}$ の結合トレランス(結合効率が最大値の80%以上の場合)が得られる。この結果、光導波路と光ファイバの光結合が容易になる。

【0083】さらに、本手段を用いると、光導波路のコアを曲げたときの損失が低減する効果を生ずる。次にこれについて説明する。光導波路のコアを曲線にすると、その曲率半径が小さくなると光が外部に放射され損失となる。この放射の起こり易さは光導波路の構造に依存する。

【0084】光導波路のコアとクラッド層のうち、コアに閉じ込められている光の割合(電界分布のうちコア内に分布しているものの積分値の全体の積分値に対する割合)を「光の閉じ込めの強さ」と定義すると、光の閉じ込めが強いほど、導波路の曲げによる損失が小さくなる。そして、本手段によるもののように、導波路のスポットサイズが変化する導波路においては、スポットサイズが小さいところでは光の閉じ込めが強くなる。よって、他の光部品と光結合をする部分と曲がりの部分とを含む光導波路において本手段を用い、相対的に曲がりの部分のスポットサイズを小さくし、他の光部品と光結合をする部分のスポットサイズを大きくすると、曲がりの部分の放射損失が小さく、あるいは曲がりの部分の曲率半径が小さく(よって小型化が可能で)、且つ他の光部品との光結合が容易な光導波路が実現され

る。

【0085】手段10は、光結合装置に、図37、図38(c)、図39、図40、図42、図44(b)、図45、図46に例示するように、相対的に高屈折率で、光軸方向に進行するにともなって途中から徐々にその断面積あるいはその外側の輪郭の形状が変化する部分を有する主コア302Aの周囲を、相対的に低屈折率の副コア302Bで取り囲む構造の複合コアを有する光導波路を用いるものである。

【0086】本手段に用いる光導波路は、例えば図37(a)に例示するように、主コア302Aを副コア302Bで取り囲んだものをコアとする光導波路で、図示したように、例えば、光導波路の右上側では主コア302Aの幅が広く途中から幅が徐々に狭くなり、やがて主コア302Aが消失するものである。図37(d)の電界分布(2)に例示するように、右側の幅が広い主コア302Aを有する部分では、主コアをコアとし副コアをクラッドとする光導波路が形成されるため光(図37(d)の(1)及び(2)は電界分布を示す)は狭い範囲に閉じ込められる。そのためスポット径が小さくなる。主コア302Aが消失すると副コア302Bのみで光を閉じ込めるようになるので、図37(d)の左側の電界分布(1)に示すように、スポット径が大きくなる。中間部においては、図37のように徐々にコアの形状を変化させることにより徐々にスポット径が変化ようになる。本手段を用いることにより、手段9に記載の光導波路が具現化される。

【0087】手段11は、図40、図41、図45(a)、図45(b)に例示するように、手段10の光導波路において、副コア302Bを、光軸方向に進行するにともなって徐々にその断面積あるいはその輪郭が変化する部分を有する構成としたものである。

【0088】図40(a)の光導波路は光導波路の右上から左下に進むに従って副コア302Bの幅が徐々に広がる領域を含むものとなっており、図40(b)の光導波路は光導波路の右上から左下に進むに従って副コア302Bの幅が徐々に狭くなる領域を含むものとなっている。

【0089】図40(a)及び図40(b)に示す光導波路の右上の端の部分でガイドされる光の水平方向の電界分布と副コアの幅との関係を図41に示す。ここに図41(a)は光導波路の断面とそれにガイドされる電界の強度分布(1)を例示するもの、図41(b)は図41(a)における副コア302Bの幅  $W_s$  と屈折率  $n_2$  が変化したときの電界強度分布(1)の幅  $W_e$  ( $W_e$ はスポットサイズ)の変化を例示するものである。

【0090】図41(b)に例示したように、副コアの幅を広くすると電界分布が広いものとなり、副コアの幅を狭くすると電界分布が狭くなる。よって副コアの幅を調節して電界分布の形状を調節し、光導波路に結合される他の光部品とのモード整合をすることができる。

【0091】さらに、副コアの屈折率を小さくすると電界分布が広いものとなり、副コアの屈折率を大きくする

と電界分布が狭くなる。よって副コアの屈折率を調節して電界分布の形状を調節し、光導波路に結合される他の光部品とのモード整合をすることができる。このように本手段を用いることにより手段10に記載の光導波路が改良され、電界分布の調節範囲が拡大される。

【0092】次に手段12は、図39、図45(c)に例示するように、相対的に高屈折率で光軸方向に進行するにともなって途中から徐々にその断面積あるいはその形状が変化する主コア302Aを、相対的に低屈折率の副コア302Bで上下又は左右の2方向からサンドイッチ状に挟み込んだ構造の主コアと副コアを組み合わせたものを光導波路のコアとするものである。なお、図39、図45(c)には、副コア302Bで主コア302Aを上下2方向から挟み込んだもののみが例示されているが、縦と横の関係を入れ替えると、副コアで主コアを左右2方向から挟み込んだものも同等の作用を有する光導波路となる。

【0093】図41(b)に例示したように、図41(a)の構成の光導波路においては、副コアの幅を変化させると、副コアと主コアの幅が同じになったとき最もスポットサイズが小さくなる。よって本手段による光導波路は小さなスポット径を持つ光部品とのモード整合に適するものとなる。

【0094】次に手段13は、図42に例示するように、曲線状の光導波路300の少なくとも曲がりを有する部分に、主コア302Aと副コア302Bを有する手段10~12のいずれかの光導波路を用いるものである。

【0095】光は光導波路のコアのような屈折率の高い部分に閉じ込められる性質を持つので、光導波路が曲がったものであっても光導波路に沿って伝搬する。しかし、光には本来直進する性質があるので、光の閉じ込めが弱くかつ曲がりの曲率半径が小さい場合には、曲がり部分で光が光導波路から飛び出してしまう(以下これを曲がりによる光の放射という)。そして、導波路の光の閉じ込めの強さは光導波路の構造に依存し、一般的にはコアのサイズが一定の場合にはコアとクラッドとの屈折率の差が大きいほど閉じ込めが強くなる。また図37に示すような光導波路においては、主コア302Aのある部分では、主コア302Aと副コア302Bの両方で光を閉じ込めるので、主コア302Aのある部分の光の閉じ込めは主コア302Aの無い部分に比べて強いものとなる。そのため、図42に例示するように、導波路の曲がりの部分に主コア302Aと副コア302Bを形成したものとすると、曲がりの部分の光の閉じ込めが他の部分に比較して強くなる。そのため曲がり部分での放射が起こりにくくなる。その結果曲がりの曲率半径を小さくすることが可能になり、光導波路が小型になる。

【0096】次に手段14は、図43に例示するように、曲線状の光導波路の、少なくとも曲がりの部分に、相対的に断面積が大きいコア302を形成するものである。光導波路の光の閉じ込めの強さは光導波路の構造に依存し、

一般的にはコアのサイズが一定の場合にはコアとクラッドとの屈折率の差が大きいほど閉じ込めが強くなり、コアとクラッドの屈折率の差が一定の場合にはコアの断面積が大きいほど閉じ込めが強くなる。

【0097】また、光導波路にガイドされる光のスポットサイズは、コアとクラッドの比屈折率差が一定である場合には、コアの断面積が小さくなるほど大きくなる。従って図43に例示するように、光導波路の端部のコア302の断面積を小さくするとスポットサイズが拡大され光ファイバ等との結合が容易になる。一方、導波路が曲がっている部分についてはコア302の断面積を大きくすると、相対的に光の閉じ込めが強くなる。そのため曲がり部分での放射が起こりにくくなる。その結果曲がりの曲率半径を小さくすることが可能になり、光導波路を小型にすることが可能になる。

【0098】次に手段15は、図37、図38(c)、図39、図40、図42、図44(b)、図45、図46に例示するような手段9～手段13のいずれかの光導波路について、当光導波路を構成する層の少なくとも1層を有機物で構成するものである。

【0099】この光導波路の場合、アンダークラッド層301Aと主コア302Aと副コア302Bとオーバークラッド層301Bに有機物を用いている。このようにすると、主コア302Aと副コア302Bを酸素プラズマでエッチングして所定の形状に加工し、再び有機物301Bを塗布するだけで容易に所望の光導波路を形成することができる。

【0100】次に手段16は、図37、図38(c)、図39、図40、図42、図44(b)、図45、図46に例示するような手段9～13のいずれかの光導波路について、少なくとも主コア302Aに無機材料を、副コア302Bに有機材料を用いるものである。

【0101】即ち、これらの図に例示する光導波路において、主コア302Aを例えばプラズマCVDで形成したシリコン酸化膜やシリコン窒化膜にすると非常に薄いコアを形成することが可能になる。更に屈折率を1.6～1.9の範囲で制御することも可能になる。

【0102】例えば主コア302Aと副コア302Bにポリイミド等を用いる場合には、ポリイミドの屈折率は1.5～1.6の範囲であるため、主コア302Aと副コア302Bの比屈折率差は約3.2%以下になる。比屈折率差が小さい場合には、コアが薄くなると閉じ込めが弱くなる。そのためコアサイズを小さくしてもスポットサイズが小さくならない。これに対し、副コア302Bにポリイミドを用い、主コア302Aにシリコン酸化膜やシリコン窒化膜を用いると、比屈折率差を最大20%程度まで大きくすることができる。その結果比較的モードサイズが小さい光導波路を形成することが可能になる。

【0103】図7はクラッド層301と副コア302Bの比屈折率を0.5%、副コアの厚さを $5\mu\text{m}$ 、主コア302Aの屈折率を1.6～1.9の間で変化させたときのスポットサイズを

例示するものである。図7のグラフのうち曲線(a)は主コアの厚さが $0.2\mu\text{m}$ の場合、曲線(b)は主コアの厚さが $0.5\mu\text{m}$ の場合である。

【0104】このように主コアに無機材料を用い、主コアを高屈折率で薄いものにより小さなモードサイズの光導波路を形成でき、光導波路と半導体レーザのモード整合が容易になる。例えば、光導波路のスポットサイズを図7の線Aで取り囲んだ範囲に選ぶと、半導体レーザと光結合したときのモード不整合による結合損失を非常に小さなものとしてすることができる。

【0105】次に手段17は、図33、図34、図44、図45に例示するように、手段8、手段15または手段16のいずれかによる光導波路について、当光導波路を有機物の層と有機物の層の間に無機物の薄膜311を有する構造とするものである。

【0106】図33、図34、図44、図45の例ではコア302とアンダークラッド層301Aの間に無機材料よりなる薄膜311を有する。コア302に有機物を用いた場合には、プラズマエッチングによってコアを加工するが、図33、図34、図44、図45に例示するようにコア302とアンダークラッド層301Aの間に無機材料の薄膜311を形成すると、酸素プラズマエッチングでコア302を矩形に加工するとき、薄膜311でエッチングを停止させることができる。その結果、コアの加工の際のエッチング工程の管理が容易になり、エッチングが確実なものとなる効果を生ずる。

【0107】次に手段18は、例えば図46に例示するように、手段2の光導波路に手段3～手段17のうちのいずれかのものを用いるものである。図46は、手段2の光結合装置を構成する光導波路に手段9または手段10の光導波路を用いるものである。

【0108】手段2を用いると左右方向の結合トレランスが広がるので左右方向に位置合わせが容易になる。さらに手段2に加えて、手段3～手段8のうちのいずれかを用いると、光導波路と他の光部品との高さ方向の位置合わせが容易になる。その結果、手段2の光導波路と他の光部品の位置合わせが容易になり、光結合効率の向上が容易になる。

【0109】さらに手段2に加えて、手段9～手段12、手段15及び手段16のうちのいずれかの手段を用いると、光導波路と光部品とのモード整合を行うことができるので、結合効率が向上するようになる。

【0110】なお、手段2と手段3～手段8のうちのいずれかと、手段9～手段12、手段15及び手段16のうちのいずれかを組み合わせると、これらの効果が組み合わせられた光結合装置となることはいうまでもない。

【0111】次に手段19は、図27または図28に例示するように、手段2又は手段18において、基板160に透明でアンダークラッド層301Aよりも低屈折率のものを用いるものである。このようにすると基板160を光導波路のク

ラッドとして用いることができる。そのため基板上のクラッド層301Aを任意の厚さにすることができる。そこで基板上のクラッド層301Aの厚さを調節して光導波路の光軸を任意の高さに調節することが可能になる。その結果他の光部品との上下方向の光軸の位置合わせが容易になる。

【0112】次に手段20は、図8、図10、図11、図13～図16、図25、図26、図47に例示するように、手段3又は手段18又は19のいずれかにおいて、該光結合装置の光部品200を搭載する部分の周囲を導波路形成用部材（301、302等）で取り囲み、光部品200を搭載した部分を覆い且つこの周囲の導波路部材にかかるような蓋用部材で且つ光部品200を搭載した部分の周囲の導波路部材と蓋用部材の間を気密化した蓋用部材400を用い、当蓋用部材400で当光部品200を搭載した部分に蓋をし、気密封止をしたものである。

【0113】本手段を用いると、光部品を簡単に気密封止できる。ここに、光導波路300は気密封止パッケージの周囲の壁と窓とを兼ねるものとなっている。周囲の壁と窓に別々のものを用いる場合に比べて製造が容易で小型になる効果がある。

【0114】手段21は、図47又は図49に例示するように、手段3、手段18又は手段19のいずれかの光結合装置（1あるいは1A）において、基板100に搭載した光部品200の周囲を導波路形成用部材501、503、504でリング状に取り囲み、電気配線部材500を、電気配線パターン502が当リング状導波路形成用部材501、503、504の外周部を貫通し、光部品200を搭載する孔303の周囲の光導波路形成用部材の一部501の表面に接するように接着された構成とするものである。

【0115】気密封止された部分と外部とを結ぶ電気配線パターンを電気配線部材に形成するため、光導波路付基板の形成が容易になる。次に手段22は、図10に例示するように、手段20において、蓋用部材400が、光部品200を搭載する導波路形成用部材の孔303の周囲に沿って導波路部材の表面に被着されたリング状の金属部材304を介して光導波路の表面に接着され、光部品200を気密化したものである。蓋用部材を接着する部分を金属部材にすることによって、半田付けや溶接を行うことが容易になる効果が得られる。

【0116】次に手段23は、図46に示すように、手段21において、光導波路に手段9～12のいずれかのものを用い、少なくともリング状の金属部材の下に主コアと副コアとを有するものとしたものである。

【0117】光導波路が置かれる雰囲気は空気、不活性気体又は真空である。そのため屈折率1の媒質中に置かれているのと同じである。この場合、光導波路の光の閉じ込めが弱い場合には、電界の一部が導波路の上側に染み出すことになる。

【0118】ところで、電界が外部に染み出す導波路の

場合、図10または46のように表面に金属部材304があると伝搬損失が大きくなる。光導波路の伝搬損失増加を抑制するためには、金属部材304が形成された部分の光の閉じ込めを強くする必要がある。そこで、本手段のように、リング状の金属部材304の下に主コア302Aと副コア302Bを有する手段10～手段12のいずれかの光導波路を用いると、この部分の光の閉じ込めが強くなり伝搬損失が低減される。

#### 【0119】

【発明の実施の形態】図8に本発明による光結合装置の第1の実施例を示す。本光結合装置1は、50 $\mu$ mのピッチで配列された15個の発光部を有するアレイ状の半導体レーザ200と、48 $\mu$ mのピッチで配列された15個のコア302を有するアレイ状の光導波路300を対向させたものである。光導波路300とボンディングパッド（図示せず）は基板100の表面に形成されている。半導体レーザ200はアレイ状の発光部のうちの中央の発光部が光導波路300のアレイ状のコアのうちの中央のコアに一致する位置を目標として位置合わせされてボンディングパッドにボンディングされている。半導体レーザ200の、目標とする位置からの位置ずれは $\pm 15\mu$ m以下に抑えられている。

【0120】本実施例に用いた部材は、基板100は表面の面方位が{100}のシリコン単結晶基板、光導波路300は有機高分子導波路、ボンディングパッドは金属、半導体レーザ200は特開平7-66502及び1993年電子情報通信学会秋季大会講演論文集4-262に記載されたレーザ部と厚さが変化するコアを有するスポットサイズ変換導波路とをモノリシックに集積化したスポットサイズ変換導波路付半導体レーザをアレイ化したものである。

【0121】シリコン基板100の表面には厚さ1 $\mu$ mのシリコン酸化膜101が形成され、この上に光導波路300とボンディングパッド（図示せず）とボンディングパッドに接続された配線パターン（図示せず）が形成されている。

【0122】光導波路300は、断面が5 $\mu$ m $\times$ 5 $\mu$ m、屈折率が約1.558の矩形のコア302の周囲を屈折率1.55のクラッド層301で取り囲んだものである。コアの下側のアンダークラッド層、コアの上側のオーバークラッド層の厚さはいずれも20 $\mu$ mである。

【0123】半導体レーザ200のそれぞれの発光部はBH構造の半導体光導波路となっており、発光部間のピッチは50 $\mu$ mである。BH構造のストライプの幅はレーザ部が約1.5 $\mu$ mでありスポットサイズ変換部はレーザ部から出力端に向かって約1.5 $\mu$ mから約4.91 $\mu$ mに変化している。半導体レーザ200の厚さ方向の層構造は、活性層への光の閉じ込め係数が5%になるようにレーザ部の層厚と屈折率が調節され、スポットサイズ変換部は同じ層構造でレーザ部から出力端に向かってコア部の厚さが徐々に薄くなっている。コア部の厚い部分と最も薄い部分の厚さの比は約2.5 : 1である。

【0124】本実施例による光導波路300と半導体レーザ200は、単体の光導波路と単体の半導体レーザを対向させて光結合させるとき、水平方向のみに着目すると、最大結合効率が約100%で、結合効率が90%に低下するときの位置ずれの大きさが約 $\pm 1.15\mu\text{m}$ である。因みに、位置ずれが $5\mu\text{m}$ のとき結合効率は約35%に低下する。

【0125】本実施例による光結合装置は、例えば、15個の半導体レーザを順次発光させて光導波路から出力される光強度を計測し、最も光出力が大きい導波路の出力端に光ファイバを結合するようにすれば、光ファイバ付の半導体レーザになる。図8には示していないが、光ファイバの位置合わせにはシリコンV溝等を用いることができるので、その位置合わせは容易である。

【0126】本実施例において、半導体レーザと光導波路の相対的位置を左右に変化させた場合の光結合効率の変化を図9に示す。図9において、“a”は半導体レーザと光導波路が（アレイではなく）単体のものである場合の結合効率、“b”は本実施例のように半導体レーザと光導波路がアレイである場合の結合効率である。なお、この場合の結合効率は、複数组のうちのいずれかの半導体レーザと光導波路について、両者の相対位置が変化したとき、その変化に対応してその結合効率が最も大きくなる1対の組み合わせを順次選択し、その組み合わせにおける最大結合効率をグラフ化したものである。既に述べたように、光導波路と光ファイバの光結合は比較的容易であるので、半導体レーザの出力光をいずれかの光導波路に結合させることができれば、半導体レーザと光ファイバの結合が容易にできるようになる。

【0127】図9に例示したように、半導体レーザと光導波路が（アレイではなく）単体のものである場合には位置ずれが約 $\pm 1.15\mu\text{m}$ のとき結合効率が90%まで低下するのに対し、本実施例では90%以上の結合効率を維持する範囲が $\pm 15\mu\text{m}$ まで拡大された。その結果、本実施例による光結合装置を用い、半導体レーザが最も強く結合した光導波路に光ファイバを結合すれば、従来のように光学的調整を伴う困難な位置合わせを行わずとも、比較的容易に半導体レーザの光を光ファイバに結合させることができる。

【0128】なお、本実施例に用いることのできる基板、光導波路の材料および半導体レーザは本実施例のもの（基板はシリコン、光導波路は高分子材料、半導体レーザはスポットサイズ変換導波路付きレーザ）に限られるものではない。基板には、例えば石英ガラスやその他のガラス及びセラミック等を用いることもできる。光導波路には、例えばシリコンの酸化物やシリコンの窒化物を主成分とする光導波路を用いることもできる。半導体レーザには通常の端面出射型の半導体レーザをアレイ化したものを用いることもできる。

【0129】次に、図10に、図8の第1の実施例を变形

して光半導体素子を気密封止した第1の実施例の第1の変形実施例（光結合装置1A）を示す。ここに図10(a)は気密封止のための蓋がされていない状態の斜視図、図10(b)は蓋をした後の光結合装置1Aの斜視図で、蓋の一部を切り欠いて中が分かるようにしてある。

【0130】図10の実施例においては、シリコン基板100の表面にシリコン酸化膜（図示せず）を形成し、そのシリコン酸化膜の表面に電気配線パターン103と半導体レーザをボンディングするためのボンディングパッド102（図10においては、半導体レーザ200の下に隠されており見ることができない）を形成し、電気配線パターンの一部が光導波路の下になるように光導波路300を形成している。シリコン酸化膜（図示せず）は基板100と電極とを絶縁するためのものである。図10には明示されていないが、半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッドはアレイ状の半導体レーザのアレイの要素に対応して要素数だけあり、これらのボンディングパッドは各々独立して電気配線パターン103に接続されている。本実施例の光導波路300は屈折率が1.55のポリイミドによるクラッド層と屈折率が1.558のポリイミドによるコアにより形成されている。コアの断面の形状と寸法、クラッド層の厚さ及びコアのピッチは図8の実施例の場合と同じである。矩形のコアは酸素プラズマエッチングにより形成した。

【0131】光導波路300には、矩形の孔303が形成されている。この孔303では基板100の表面と基板の表面に形成されたボンディングパッド及び電気配線パターンが露出している。この孔は酸素プラズマエッチングにより形成した。

【0132】孔303の内側に露出したボンディングパッド102（隠れて見えない）にはアレイ状の半導体レーザ200がボンディングされている。この半導体レーザ200は図8の実施例に用いたものである。半導体レーザ200は光導波路300のコア302の端面に対向するようにボンディングされている。

【0133】光導波路の上側表面にはリング状の金属部材304が形成されている。この金属部材304は蓋400を被着させるためのものであり金属の皮膜により形成されている。この金属皮膜は真空蒸着等により形成される。

【0134】次に、蓋400には図10(b)の下側の面から上側に向かって窪み401が形成されており、さらに窪みの外周の表面にはリング状の金属部材402が形成されている。このリング状の金属部材402は蓋を基板側のリング状の金属部材304に被着させるためのものである。

【0135】本図10の実施例では蓋400はセラミックにより形成されている。なお蓋400には金属、シリコンあるいはプラスチックを用いてもよい。蓋400に金属を用いる場合にはリング状の金属部材402は不要である。蓋400にシリコンあるいはプラスチックを用いる場合には、真空蒸着、メッキ、スパッタ等により表面に金属皮膜を

形成すれば、インジウムや錫や半田等を用いて接着することが可能になる。蓋400にシリコンやセラミックなどの耐熱性の高いものを用いる場合にはスクリーン印刷の後焼結する方法又はリング状の金属板を低融点ガラスで張り合わせる方法等を用いることも可能である。また蓋にプラスチックを用いる場合には金属のリング402と304を無くし、高分子の接着剤を用いて光導波路300上に直接張り合わせてもよい。

【0136】リング状の金属部材304は、金属の板によって形成されている。この金属の板は例えばプレス等で打ち抜いたものを蓋に張り合わせて形成する。張り合わせには高分子の接着剤あるいは低融点ガラス等を用いる。なお、スクリーン印刷により蓋400の表面にリング状の金属部材上に焼結材を含む金属のペーストを塗布し、これを焼結してもよい。さらに、真空蒸着、メッキ、スパッタ等により表面に金属皮膜を形成してもよい（この場合は必ずしもリング状でなくてもよい）。

【0137】リング状の金属部材304の表面に低融点の金属（例えばインジウム、錫あるいは金錫共晶合金等）を被着させ、これに蓋の表面のリング状の金属部材402を重ね合わせ、低融点金属を熔融させた後、常温に戻してリング状の金属部材304にリング状の金属部材402を固着させる。この結果、孔303の中の半導体レーザ200は気密封止される。

【0138】本図10の実施例では、光導波路300にポリイミドを用いたので、ボンディングパッド102及び電気配線パターン103及び金属皮膜によるリング状の金属部材304を形成した後に光導波路300および光導波路の孔303を形成することが可能になった。ボンディングパッド102及び電気配線パターン103及び金属皮膜によるリング状の金属部材304を平坦な面上に形成することができるため、これらをフォトリソグラフィにより比較的容易に形成することができた。

【0139】さらに図8と同様に半導体レーザ200をボンディングする際に許容される位置ずれの大きさが $\pm 15 \mu\text{m}$ であるため、位置合わせも比較的容易であった。さらに、半導体レーザ200の気密封止も比較的簡単にすることができた。

【0140】図11は石英の光導波路を用いる場合の第1の実施例（図8）の第2の変形実施例を示すものである。図11(a)は蓋をする前、図11(b)は蓋をした後を示すものである。

【0141】石英の光導波路を形成するには、その行程で1000℃以上の温度で熱処理を行う必要がある。そのため光導波路300を形成した後に電気配線パターン103を形成する。そのため本実施例では光導波路300層の上側の表面に電気配線パターン103が形成されている。本実施例の光導波路のクラッド301の屈折率は1.46、コア302の屈折率は1.4673、コア302の断面は $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ の矩形、アンダークラッド層301Aとオーバークラッド層301Bの厚

さは $30 \mu\text{m}$ である。

【0142】光導波路に形成した孔303の中に配線パターン（図示せず）とボンディングパッド（半導体レーザにより隠されている）を形成し、図8の実施例と同じ半導体レーザ200をボンディングパッドにボンディングしている。本実施例では光導波路を形成し、光導波路の孔303を形成した後でボンディングパッドを形成した。すなわち孔303と光導波路の境界による段差がある基板上にフォトリソグラフィプロセスを施しボンディングパッドを形成することになる。このためボンディングパッドの位置ずれが大きくなり易い。しかし、本実施例のボンディングパッドの位置ずれ（ $\pm 5 \mu\text{m}$ 以下）は半導体レーザ結合トレランス（ $\pm 15 \mu\text{m}$ ）に比べて十分小さいため、問題とはならない。セラミック製の蓋400をエポキシ樹脂によるリング304を介して接着し、半導体レーザを気密封止している。本実施例においても、半導体レーザの位置合わせが及び気密封止が容易にできる。

【0143】なお、図10及び図11の実施例による光結合装置1Aは気密封止のため蓋をしても小型になる特徴がある。例えば $2\text{mm} \times 2\text{mm} \times 1\text{mm}$ 以下にすることも可能である。熱容量が小さくなるので、気密封止後の光結合装置1をペルチェ素子等の上に接着し温度調節をすることも容易になる。

【0144】次に図12～図16に、図10あるいは図11の第1の実施例の第1及び第2の変形実施例により気密封止された光結合装置1Aに光ファイバを接続する実施例を示す。本実施例においてはまず、最も光出力が大きい光導波路を選択する。図12は、図10の実施例により半導体レーザ200を搭載し気密封止した光結合装置1Aについて、光出力が最も大きい光導波路のコア302を選択する方法を例示するものである。

【0145】図12の光ファイバ接続実施例においては、受光部の直径が $2\text{mm}$ のフォトダイオード2を用い、光結合装置1Aの光導波路300の各コア302から出力される光強度を計測する。フォトダイオード2の受光面のサイズが光導波路300のコア302が並んでいるアレイの端から端までの幅（約 $0.7\text{mm}$ ）に比べて十分大きいので、フォトダイオード2を光導波路300の前方のほぼ中央に配置すれば、全てのコア302から出力する光を計測することができる。電極103から順次半導体レーザ200のアレイの要素に一定の電流を供給し、そのときの光出力を測定して光出力が最大になる一つの光導波路を選択することができる。

【0146】図13～図16は、図10に例示された第1の変形実施例における光結合装置1Aと光ファイバ3の光結合を行う光ファイバ結合実施説明図を示すものである。まず図13(a)及び(b)は、突起111（以下この突起をレールという）を有する共通基板110と、レール111に嵌合する溝122（以下このレール111に嵌合する溝122をレール嵌合溝という）を裏面に形成し、当レール嵌合溝を裏面

に形成した光ファイバ搭載用基板120と、裏面にレール111に嵌合する溝104（以下、これもレール嵌合溝という）を形成した基板100Aを有する光結合装置1Aを示す。なお光結合装置1Aは、図10の実施例による光結合装置1の基板100に、レール嵌合溝104を形成するという変形を加えたものである。このような光結合装置1Aと光ファイバ搭載基板120のレール嵌合溝122及び104を共通基板110上のレール111に嵌合させて位置合わせをし、光結合している。

【0147】共通基板110には表面の面方位が{100}のシリコン基板を用いている。このシリコン基板の表面に熱酸化膜（図示せず）を形成し、次いでフォトリソグラフィとエッチング工程により所定のパターンの熱酸化膜によるエッチング用マスクを形成し（図示せず）、次いで強アルカリのエッチング液を用いてウェットエッチングする工程（この工程を異方性エッチングという）を用いてレール111を形成している。このレール111を形成する場合には、<110>方向に伸びるストライプ状の熱酸化膜によるエッチング用マスクパターン（図示せず）が用いられる。

【0148】図13の光結合装置1Aの基板100A及びファイバ搭載基板120も表面の面方位が{100}のシリコン基板であり、レール嵌合溝104と122も異方性エッチングにより形成されたものである。レール嵌合溝104と122は、そのエッチング用マスクを形成する際に両面マスク合わせ装置を用い、それぞれ光導波路300のコア302のパターン及び光ファイバガイド溝121との相対位置が一定になるように形成されている。光ファイバガイド溝121に載置した光ファイバ3が、図12の実施例により選択された光導波路のコア302に対向するように光ファイバガイド溝121を形成し、これに光ファイバ3を載置し、光結合している。本方法を用いると、光ファイバ3の位置合わせが極めて容易になる。

【0149】図14は、図13に示した光結合装置と光ファイバを光結合することに更に工夫を加えた光結合装置の第2の実施説明図であり、図13の第1の実施説明図の一部を変形したものである。図14による第2の実施例は、図13の第1の実施例の共通基板110のレールのサイズを比較的小さいものとし、光結合装置1Aおよび光ファイバ搭載基板120それぞれのレール嵌合溝104（光ファイバ搭載基板120に隠れて図14には図示していない）及び122を複数にし、且つレール嵌合溝104、122のピッチを光導波路のコア302のピッチと同じにしたものである。

【0150】このようにすると、レール111に嵌合するレール嵌合溝104、122を選択することにより光ファイバ3に結合する光導波路のコア302を選択できるようになる。本実施例では、光ファイバ3が、例えば図12の実施例により選択された光導波路のコアに対向するものとなるようにレール嵌合溝104、122を選択し、レール111に嵌合させる。

【0151】なお、図14にはレール111が1対（2本）のものが例示されているが、複数対のレールを形成してもよい。その場合は一つの対のレールと他の対のレールの間隔が光導波路のコアのピッチに等しくなるようにする。

【0152】図15は、光結合装置と光ファイバを光結合するために工夫を加えた光結合装置の第3の実施説明図で図13の第1の実施説明図の一部を変形したものである。本実施例は、図13の第1の実施説明図におけるファイバ搭載基板120の表面に、光導波路のコア302（図12参照）のピッチと同じピッチの凹凸を有する周期的凹凸123を形成し、その凹凸123に嵌合する周期的凹凸132と、光ファイバ3を嵌合させる溝131（以下この「ファイバを嵌合させる溝131」を「光ファイバ押接溝131」という）を有する部材130で光ファイバ3をコア302（図12参照）に押接するものである（以下この「光ファイバを押接する部材130」を「光ファイバ押接部材130」という）。光ファイバ搭載基板120の表面の周期的凹凸123は、基板120を異方性エッチングすることによって形成される。さらに、光ファイバ押接部材130にも表面が{100}のシリコン基板が用いられており、光ファイバ押接溝131と光ファイバ押接部材の両サイドの周期的凹凸132も異方性エッチングによって形成されたものである。

【0153】本第3の実施説明図によれば、光ファイバ押接部材130を左右に移動させて、光ファイバ3と光結合する光導波路のコア302を選択することができる。そのため、光ファイバ3に結合すべき光導波路のコア302の選択の自由度が向上する。

【0154】図16は、光結合装置と光ファイバを光結合するために工夫を加えた光結合装置の第4の実施説明図であって、図15の第3の実施説明図の一部を変形したものである。本実施例は、図15の第3の実施説明図のファイバ搭載基板120のレール嵌合溝122のうち同時にレール111に嵌合するものを1組として、複数のレール嵌合溝122を形成したものである。ここに複数組のレール嵌合溝122はその組内の二つはサイズが同じで、異なる組の間ではサイズが異なるものとして形成されている。またレール嵌合溝122は、その組と組の間のピッチが、光ファイバ搭載基板120の表面の周期的凹凸123の間隔の正数倍になるように形成されている。

【0155】本第4の実施説明図によれば、複数組のレール嵌合溝122のうちの1組を選択して光ファイバ3の光軸の高さを調節することができる。従ってレール111に嵌合したとき、光導波路のコア302と光ファイバ3の光軸の高さにずれが合った場合でも、これを補正することが可能になる。さらに、本実施例では、図15の実施例と同様に、光ファイバ押接部材130を左右に移動させることにより光ファイバ3と光結合する光導波路のコア302を選択することもできる。従って、まず、高さの調節のためにレール嵌合溝122を選択し、次いで光ファイバ押

接部材130を左右に移動させて光ファイバ3と結合する光導波路のコア302を選択することができる。

【0156】以上は光ファイバ3の左右の位置調節を扱った実施例であるが、一方光ファイバ3の光軸の高さを調節する必要がある。即ち、光導波路のコア302の光軸の高さとの誤差をなくすることにより光結合効率が更に向上する。

【0157】図17～図24は第1の実施例(図8)の変形実施例を示すものである。まず図17は、図8の第1の実施例の基板100の代わりに、図17(b)に示すように、二つの基板170と基板140を用い、半導体レーザ200を基板170に搭載し、光導波路300を基板140に搭載する第3の変形実施例を示す図である。ここに図17(a)に半導体レーザ200を搭載すべき基板170の構成を例示し、図17(b)に半導体レーザと光導波路が搭載された基板170、140を共通基板110上に配列して、両者を光結合するための構成を示す。

【0158】半導体レーザ200と光導波路300を搭載した基板170、140を配列するために、基板170と基板140の裏面にレール嵌合溝134、141を形成し、そのレール嵌合溝を、第3の基板である共通基板110のレール111に嵌合させている。

【0159】本実施例を用いると、レール嵌合溝134、141のサイズを調節して半導体レーザ200と光導波路300の光軸の高さを調節することができるようになる。そのため両者の光軸の高さを一致させることが容易になる。また、半導体レーザ200をボンディングするための基板170の製造と光導波路300とを別々に独立して製造することが可能になる利点がある。例えば、光導波路300の製造に高温プロセスが必要な場合でも、半導体レーザ200を搭載するための基板170には何ら影響を及ぼさないで済む。なお、本実施例の光結合装置に、図14～図16に示す光ファイバ搭載基板を組み合わせると、光ファイバと光結合することが可能になる。

【0160】図18は図8の第1の実施例の第4の変形実施例を示すもので、図14に示した第2の実施説明図における光導波路のコア302のパターンを変形したものである。本実施例では、光導波路のコアのピッチが、半導体レーザと対向する側は図8の場合と同じであるが、その反対側は $250\mu\text{m}$ に広げられている。このようにすると、後に説明するように光ファイバとの結合が容易になる効果を生ずる。

【0161】図19は図18の第4の変形実施例の光結合装置1について、光ファイバ3と結合すべき光導波路300のコア302を選択する方法の一つを例示するものである。本実施例は、図19の光導波路300の左側端面に、各々のコア302に対応させてアレイ状のフォトダイオード2を対向させた構成を用いるものである。その他に、半導体レーザ200のアレイ要素に順次電流を供給するレーザ駆動装置21と、フォトダイオード2の電流を測定する

装置(電流測定装置)22を具備して構成される。

【0162】レーザ駆動装置21による半導体レーザ200のアレイ要素の選択に同期してフォトダイオード2の出力電流を計測し、その電流が最大になる半導体レーザ200のアレイ要素と光導波路のコア302とを選択し、その導波路のコア302に光ファイバ3を結合する。

【0163】図20は図18の第4の変形実施例による光結合装置1について、図19の実施例により選択された光導波路300のコア302に光ファイバ3を結合する一つの構成を例示するためのものである。基本的には、図13の実施例と同じように、図18の光結合装置1にレール嵌合溝104を形成したものをを用い、この光結合装置1に形成したレール嵌合溝104と光ファイバ搭載基板120に形成したレール嵌合溝122を共通基板110のレール111に嵌合させ配列したものである。

【0164】本実施例では光導波路のコア302のピッチを $250\mu\text{m}$ に広げ、光ファイバ搭載基板120に複数のファイバガイド溝121を形成したので、どの光導波路のコアに対しても光ファイバ3を結合することが可能になった。そのため、本構造を用いれば、光ファイバ3と結合すべきコア302がどれであっても、共通の光ファイバ搭載基板120で光結合することができる。

【0165】図21は図18の第4の変形実施例による光結合装置1に光ファイバ3を結合する他の構成を例示するものである。本例では、全ての光ファイバガイド溝121にそれぞれ光ファイバ3を搭載している。そしてすべての光ファイバ3の出力を計測し、光出力が最大のものを選択する。本実施例を用いれば、図25に例示するようなコアを選択する工程が不要となる。本実施例は、図25に例示したようなコアを選択する工程にかかるコストが多数の光ファイバを搭載するコストより大きい場合に、光結合装置と光ファイバとの結合に要する総合コストを削減することができる。

【0166】図22は、図20の実施例を変形したもので、基板に、図20の実施例における基板100Aと光ファイバ搭載基板120を一体化した基板150を用いるものである。基板が一体化されるため、基板間の位置合わせが不要になる。

【0167】図23と図24は、図22の実施例の場合とは逆に、図21の基板100Aを半導体レーザを搭載するための基板170と光導波路付基板140の二つの基板に分割したものである。本実施例を用いると、図21の実施例の利点の他に、図17の実施例と同様に、半導体レーザ200と光導波路300の相対高さの調節が容易になるという利点がある。

【0168】図25は図18の第4の変形実施例に図10の第1の変形実施例を適用する例を示すものである。図25に例示するように、図18の変形例による光結合装置1に対しても、光導波路300に孔303を形成し、半導体レーザ200を孔の中に入れてボンディングし、蓋400をすることに



より気密封止することができる。なお、図25には気密封止に関する部分の構成および製造方法を詳細には示していないが、本実施例における気密封止に関する部分の構成および製造方法及び蓋400の構成は、図10の実施例と同じである。

【0169】図26は図22の実施例に図10の実施例を適用する例を示すものである。即ち、図22の実施例による光結合装置1に対して光導波路300に孔303を形成し、半導体レーザ200を孔303の中に入れてボンディングし、蓋400をすることにより気密封止することができる。なお、図26には気密封止に関する部分の構成および製造方法を詳細には示していないが、本実施例における気密封止に関する部分の構成および製造方法及び蓋400の構成は、図10の実施例と同じである。

【0170】次に、図27～図36は、半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例1～10を示すものである。図27は高さ方向の光軸合わせが容易な光結合装置の例1で、基板に石英基板160を用い、その上にアンダークラッド層301Aとコア302とオーバークラッド層301Bを形成した光導波路300を用いるものである。基板160の屈折率は約1.46、アンダークラッド層301Aとオーバークラッド層301Bの屈折率は1.55、クラッド層301A、301Bとコア302の比屈折率差は0.5%である（クラッド層301A及び301Bとコア302には図10の実施例の光導波路と同じポリイミドを使用）。

【0171】本実施例では、基板160の屈折率が小さいのでアンダークラッド層301Aを薄くし、その厚さを調節して光導波路300のコア302の高さの調節を行うことができる。具体的にはアンダークラッド層301Aの厚さを4 $\mu$ m、コアの厚さを5 $\mu$ mにすれば、コアの中心の高さ（この場合には6.5 $\mu$ m）を半導体レーザ200の光軸の高さ（5.32～9.32 $\mu$ m）に一致させることができる。

【0172】この場合、光導波路の光軸の高さが低い（この場合には6.5 $\mu$ m）ので、アンダークラッド層301A及びコア302の厚さに±5%の誤差が生じた場合でも、光軸の高さ誤差（具体的には±0.4 $\mu$ m未満）は小さいものとなる。この場合の高さ誤差は、具体的には±0.4 $\mu$ m以下であり、本実施例の結合系において許される位置ずれの大きさ（具体的には±1 $\mu$ m）より小さいものとなる。したがって、製造誤差がある場合でも、所定の結合効率が得られる。なお、本実施例の適用範囲は図27のようなアレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。図28の例2に示すように単体の半導体レーザ200と単体の光導波路300の光結合においても、光軸の高さを一致させるのに有効になる。

【0173】図29は高さ方向の光軸合わせが容易な光結合装置の例3で、基板100にシリコン基板を用い、その上に熱酸化膜（図示せず）を形成し、その上にバッファ層310を形成し、さらに、その上にアンダークラッド層3

01Aとコア302とオーバークラッド層301Bよりなる光導波路300を形成したものである。ここで、半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッド（図では見えず）及び電気配線用のパターン（図示せず）は、シリコン基板100の表面の熱酸化膜（図示せず）上に形成されている。熱酸化膜はシリコン基板100を熱酸化したものであり、その厚さは2 $\mu$ mである。本実施例においても、熱酸化膜101（図29には記載せず）は、図8に例示するように、基板100の上側の表面全体を覆っている。

【0174】図29の本実施例において、バッファ層310はシリコンの酸化物によって形成されるものである。熱CVDにより3.2 $\mu$ mのシリコン酸化物の層（これがバッファ層310になる）を厚さ2 $\mu$ mの熱酸化膜（図示せず）上に形成したものがバッファ層310付の基板となる。

【0175】光導波路300はアンダークラッド層301A及びオーバークラッド層301Bの屈折率が1.55、クラッド層301A又は301Bとコア302の比屈折率差が0.5%、コア302の断面のサイズが6 $\mu$ m×6 $\mu$ mである。アンダークラッド層301Aの厚さは約2 $\mu$ mである。

【0176】本実施例では、アンダークラッド層301Aより低屈折率のバッファ層310があるため、図5に例示したように、基板側に伸びる電界はその強度が急激に減衰する。そのため、アンダークラッド層301Aが薄い場合でも光の基板放射が低減される。

【0177】さらに、本実施例によれば、バッファ層310とアンダークラッド層301Aの厚さとコア302の厚さの2分の1を加えた厚さ（8.2 $\mu$ m）を半導体レーザの光軸高さ（5.32～9.32 $\mu$ m）に等しくすることが可能になる。またその全体の厚さの絶対値が小さいので、高さ誤差が小さくなる。そのため半導体レーザ200と光導波路300の光軸の高さ合わせが容易になる。さらに、基板100にシリコン基板を用いているので、異方性エッチングで例えば図13の実施例に示すようなレール嵌合溝104を形成し、光ファイバ3と結合することが可能になる。

【0178】なお、本実施例の適用範囲は図29のようなアレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。図30は高さ方向の光軸合わせが容易な光結合装置の例4で、図30に例示するように単体の半導体レーザ200と単体の光導波路300の光結合においても、光軸の高さを一致させるのに有効である。

【0179】図31は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例5にて、基板100にシリコン基板を用い、その上にバッファ層310（材料はシリコンの酸化物、厚さは5 $\mu$ m）を形成し、その上にアンダークラッド層301A（厚さ3.5 $\mu$ m、屈折率1.55のポリイミド）とコア302（比屈折率差0.5%、6 $\mu$ m×6 $\mu$ mの断面サイズを有するポリイミド）とオーバークラッド層301B（厚さ3.5 $\mu$ m、屈折率1.55のポリイミド）よりなる光導波路300を

形成したものである。ここに、半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッド（図では見えず）及び電気配線用のパターン（図示せず）は、バッファ層310の上に形成されている。

【0180】本実施例において、バッファ層310はシリコンの酸化物によって形成される。バッファ層310は、シリコン基板100を熱酸化して $2\mu\text{m}$ の熱酸化膜を形成し、次いで熱CVDにより $3\mu\text{m}$ のシリコン酸化物を堆積し形成した。

【0181】本実施例においても、アンダークラッド層301Aより低屈折率のバッファ層310のため、図5に例示したように、基板側に伸びる電界はその強度が急激に減衰する。そのため、アンダークラッド層301Aが薄い場合でも光の基板放射が低減される。

【0182】さらに、本実施例によれば、バッファ層310とアンダークラッド層301Aの厚さとコア302の厚さの2分の1を加えた厚さ（ $6.5\mu\text{m}$ ）を半導体レーザ200の光軸高さ（ $5.32\sim 9.32\mu\text{m}$ ）に等しくすることが可能になる。またその全体の厚さの絶対値が小さいので、高さ誤差が小さくなる。そのため半導体レーザ200と光導波路300の光軸の高さ合わせが容易になる。

【0183】さらにまた、基板100にシリコン基板を用いているので、異方性エッチングで例えば図13の実施例に示すようなレール嵌合溝104を形成し、光ファイバ3と結合することが可能になる。なお、本実施例の適用範囲は図31のようなアレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。図32は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例6にて、図32に示すように単体の半導体レーザ200と単体のコアを有する光導波路300の光結合においても、光軸の高さを一致させるために用いることができる。図33は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例7にて、基板100にシリコン基板を用い、その上に厚さ $20\mu\text{m}$ のポリイミドのバッファ層310を形成し、その上にシリコン窒化膜311を形成し、その上にポリイミドのアンダークラッド層301Aとポリイミドのコア302とポリイミドのオーバークラッド層301Bよりなる光導波路300を形成したものである。ここに、半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッド（図では見えず）及び電気配線用のパターン（図示せず）は、シリコン窒化膜311の上に形成されている。本実施例において、バッファ層310はアンダークラッド層301Aに用いるものと同じ組成のポリイミドであり、光導波路を構成するクラッド層301A、301Bとコア302の材料と寸法は図31の実施例のものと同じである。シリコン窒化膜311はプラズマCVDで形成したものでその厚さは約 $200\text{nm}$ である。なおバッファ層310は光導波路のクラッド層301A及び301Bより屈折率が小さいものであってもよい。本実施例によっても図31の実施例と同じ効果が得られる。

【0184】なお、本実施例の適用範囲は図33のような

アレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。図34は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例8にて、図34に示すように単体の半導体レーザ200と単体のコアを有する光導波路300との光結合においても、光軸の高さを一致させるのに有効である。

【0185】図35は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例9にて、基板100に窪み106を形成し、窪みの部分にバッファ層310を埋め込み、その上にアンダークラッド層301Aとコア302とオーバークラッド層301Bよりなる光導波路300を形成したものである。ここに、バッファ層310の表面は基板100の窪み106のない部分と同じ高さにする。半導体レーザ200をボンディングするためのボンディングパッド（図では見えず）及び電気配線用のパターン（図示せず）は、基板100の窪み106のない部分の表面に形成されている。

【0186】本実施例において、バッファ層310はシリコンの酸化物によって形成されるものであり、光導波路300のクラッド層301A、301Bとコア302の材料と寸法は図31の実施例のものと同じである。

【0187】本実施例による光結合装置は、例えば次のようにして製造される。基板100に、表面の面方位が $\{100\}$ のシリコン基板を用い、これを異方性エッチングして窪み106を形成する。次いで、スパッタあるいはCVDあるいは塗布工程等により、窪み106にバッファ層310の材料になるものを埋め込み、必要があれば熱処理等を行って透明にする。なお本実施例のようにバッファ層310にシリコンの酸化物を用いる場合には $1000^{\circ}\text{C}$ 以上の温度で熱処理する。次いで、研削し、バッファ層310の表面と基板100の表面が同じ高さになり、バッファ層310の表面が平坦になるようにする。次いで表面に絶縁膜（例えば窒化シリコン膜等。図35には明示せず。）を形成し、その上にボンディングパッド（図では見えず）と電気配線パターン（図示せず）を形成し、次いで光導波路300を形成する。ここに、絶縁膜形成は基板と電気配線パターンを絶縁するために行うものであり、この目的が達成されるのであれば他の方法を用いてもよい。

【0188】バッファ層310の厚さは $10\mu\text{m}$ 、クラッド層301A、301Bとコア302の構成は図31のものと同じである。本実施例によれば図31の実施例と同様に光導波路300と半導体レーザ200の光軸の高さを一致させるのが容易になる効果を生ずる。さらに、半導体レーザ200をボンディングする面がシリコン基板100の表面であるので、熱放散が良好になる効果も生ずる。

【0189】なお、本実施例において、バッファ層310は、その屈折率が光導波路300のアンダークラッド層301Aと同じかあるいは低屈折率で透明なものであれば何でもよい。例えばポリイミドでもよい。さらに、バッファ層310の上に形成される光導波路300はポリイミド導波路に限られるものではなく、その他の有機物又は無機物に

よる光導波路であってもよい。

【0190】また、本実施例の適用範囲は図35のようなアレイ状の半導体レーザ200とアレイ状の光導波路300の光結合に限定されるものではない。図36は高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置の例10にて、図36に示すように、単体の半導体レーザ200と単体のコアを有する光導波路300の光結合においても光軸の高さを一致させるのに有効になる。

【0191】なお、以上説明したもののうち、図27の実施例の光導波路300の構造および半導体レーザ200の実装方法は、図8、図10および図12の実施例の光導波路300及び半導体レーザ200の実装にも適用可能である。

【0192】同様に、図28～図36の実施例の光導波路300の構造および半導体レーザ200の実装方法は、図8、図10、図11、図13～図18、図20～図26の実施例の光導波路300及び半導体レーザ200の実装にも適用可能である。

【0193】図37、図39、及び図40は、光が光導波路を伝搬するにつれて、場所により光のスポットサイズあるいは閉じ込めの強さが変化する単体の光導波路の実施例を示すものである。

【0194】図37は伝搬するに伴い光スポットサイズが変化する光導波路の例1を示し、相対的に高い屈折率の主コア302Aを相対的に屈折率が低い副コア302Bで取り囲んだ構造のコア302を有する光導波路300を例示するものである。図37(a)はその斜視図を、図37(b)は図37(a)の上側から見た平面図を、図37(c)は図37(b)の線 $X_1-X_1'$ 上および $X_2-X_2'$ 上の屈折率分布を、図37(d)は右下方から見た側面断面図を、図37(e)は図37(d)の線 $Y_1-Y_1'$ 上及び $Y_2-Y_2'$ 上の屈折率分布を示す。なお図37(d)は光軸中心に沿って切断したときの側面断面図、図37(c)の点線は $X_1-X_1'$ 上の屈折率分布、図37(c)の実線は $X_2-X_2'$ 上の屈折率分布、図37(e)の点線は $Y_1-Y_1'$ 上の屈折率分布、図37(e)の実線は $Y_2-Y_2'$ 上の屈折率分布、図37(d)の線(1)と(2)は導波路にガイドされる光の電界分布である。

【0195】本実施例の光導波路300は、一方の端には主コア302Aを有し、そこから光軸に沿って進むに従って、一定の区間では一定の幅の主コア302Aを有し、次いで主コア302Aの幅が徐々に狭くなり、次いで主コア302Aが消失する。具体的構成は、クラッド層301の屈折率が1.55、クラッド層301と副コア302Bの比屈折率差が0.5%、主コア302Aの屈折率が1.6、副コア302Bの断面の外形寸法が $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ 、主コア302Aを含む側の端において、主コア302Aの厚さが $0.8\mu\text{m}$ 、幅が $3\mu\text{m}$ である。また、クラッド層301、副コア302Bおよび主コア302Aはいずれもポリイミドである。

【0196】このような構成の光導波路300は、図37(d)の(1)、(2)に示すように、主コア302Aがある部分では主コア302Aをコアとし、副コア302Bをクラッドとするような導波路が形成される。そのため、主コア302Aが存在する側では相対的にスポットサイズが小さくなり、主コア

302Aが存在しない側では相対的にスポットサイズが大きくなる。

【0197】具体的には、主コア302Aを有する側の導波路にガイドされる光のスポットサイズは約 $3.1\mu\text{m}$ （縦） $\times 5.5\mu\text{m}$ （横）であり、主コア302Aがない側の導波路のスポットサイズの径は約 $6.7\mu\text{m}$ である。

【0198】本実施例による光導波路300の主コア302Aを有する側のスポット径は、図8の実施例に用いた半導体レーザ200のスポットサイズとほぼ等しい。具体的には、図8の実施例に用いた半導体レーザ200のスポットサイズは $3\mu\text{m} \times 6.8\mu\text{m}$ である。そのため、例えば図8の実施例の光導波路300に本実施例による光導波路300を用い、主コア302Aを有する側と半導体レーザ200を対向させると、高い結合効率が得られる。

【0199】さらに、主コア302Aがない側の光導波路と光ファイバとは、比較的高い効率で結合する。そのため、例えば図8、図10等に例示する光結合装置の光導波路に本実施例の光導波路を用いると、半導体レーザと光導波路の両方に高効率で結合する光結合装置が実現される。以下に、具体的に、図38のような結合系の場合の結合効率を例示する。図38(a)は半導体レーザ200に光ファイバ3を直接結合する場合、図38(b)は半導体レーザ200と光ファイバ3を主コア302Aを有しない光導波路300を介して結合する場合、図38(c)は半導体レーザ200と光ファイバ3を本実施例（図37の実施例）の光導波路を介して結合する場合である。

【0200】これら三つの場合について、半導体レーザ200の接合に垂直な方向のみに着目して半導体レーザ200と光ファイバ3の最大の光結合効率を求めると、図38(a)の場合が約67%、図38(b)の場合が約77%、図38(c)の場合が約95%になる。このように本実施例を用いると、比較的容易に、高結合効率の光結合装置を実現することができる。

【0201】以上、クラッド層301、副コア302Bおよび主コア302Aがポリイミドである光導波路について説明したが、これらは無機材料であってもよいし、有機材料の層と無機材料の層が混在するものであってもよい。

【0202】そこで次に、例えば、クラッド層301と副コア302Bにポリイミドを用い、主コア302Aにシリコン酸化膜やシリコン窒化膜を用いる場合の実施例について説明する。

【0203】このような実施例の光導波路は、図37と同じ構成とし、例えばプラズマCVDでシリコン窒化膜を形成し、これを主コア302Aとすればよい。具体的な構成は、クラッド層301の屈折率が1.55、クラッド層301と副コア302Bの比屈折率差が0.5%、主コア302Aの屈折率が1.7、副コア302Bの断面の外形寸法が $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ 、主コア302Aを含む側の端において、主コア302Aの厚さが $0.19\mu\text{m}$ 、幅が $4.55\mu\text{m}$ である。

【0204】このような光導波路の主コア302Aを有する

側のスポットサイズは  $3\mu\text{m} \times 5.7\mu\text{m}$  である。例えば図 8 の実施例の光導波路 300 にこのような光導波路を用い、この光導波路の主コア 302A を有する側を半導体レーザ 200 に対向させると、垂直方向のみについては 99% の効率で光結合する。このように本実施例を用いると、垂直方向のスポットサイズを半導体レーザに一致させ、結合効率を向上させることが容易になる。その結果結合効率が向上する。

【0205】次に、本実施例により光導波路にガイドされる光のスポットサイズを大きく変化させる例を図 7 を用いて説明する。図 7 はクラッド層 301 と副コア 302B の比屈折率を 0.5%、副コア 302B の厚さを  $5\mu\text{m}$ 、主コア 302A の屈折率を 1.6~1.9 の間で変化させたときのスポットサイズを例示するものである。図 7 のグラフのうち曲線 (a) は主コア 302A の厚さが  $0.2\mu\text{m}$  の場合、曲線 (b) は主コア 302A の厚さが  $0.5\mu\text{m}$  の場合である。

【0206】図 7 によれば、主コア 302A の屈折率と厚さを変化させてスポットサイズを約  $1\mu\text{m} \sim 7\mu\text{m}$  の間で変化させることが可能になることがわかる。さらに、本実施例において副コア 302B の屈折率及び断面のサイズを変化させると、主コア 302A が無い側にガイドされる光のスポットサイズを変化させることも可能になる。

【0207】例えば図 6 のグラフ (a) は、図 8 のようなスラブ導波路のコア 302 とクラッド層 301 (屈折率 1.55) の比屈折率差が変化したとき、光導波路にガイドされる光のスポットサイズがどのように変化するかを例示するものである。なお、コア 302 とクラッド層 301 の比屈折率差を変化させるとコア 302 の厚さも変化させなければならないため、図 6 にはコア 302 の厚さ (グラフ (b)) も同時に示している。

【0208】図 6 によれば、副コア 302B の屈折率と厚さを変化させてスポットサイズを約  $5\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$  の間で変化させることが可能になることがわかる。光導波路にガイドされる光のスポットサイズを拡大すると、光導波路と光ファイバの結合効率が向上し、さらに結合トレランスが拡大される。

【0209】このように、本実施例を用い、主コア 302A および副コア 302B のサイズと屈折率を変化させることにより、ガイドされる光のスポットサイズを広い範囲にわたって変化させることが可能な光導波路が実現される。その結果、高い結合効率と大きな結合トレランスを有する光結合構造を形成することが可能になる。

【0210】図 39 と図 40 は伝搬するに伴い光のスポットサイズが変化する光導波路の例 2、例 3 及び例 4 であって、光軸方向に進むに従って副コア 302B の断面形状が変化する光導波路の実施例を示すものである。ここに、図 39 は、図 37 の実施例において、主コア 302A がある側の副コア 302B の幅を主コア 302A と同じにしたものである (図 37 の場合には主コア 302A に比べて副コア 302B のほうが幅が広い)。このようにすると、後に説明するように、光

導波路の主コア 302A を有する側の横方向のスポット径がより小さくなる。そのため本実施例を用いると、例えば、横方向のスポット径がより小さい半導体レーザとの結合効率が向上する。

【0211】図 40 (a) は、主コア 302A が存在する側の副コア 302B の幅を、主コア 302A の幅よりも広く且つ反対側の端の副コア 302B の幅よりも狭くしたものである (図 37 の場合には副コア 302B の幅が一定である)。このようにすると、後に説明するように、光導波路の主コア 302A を有する側の横方向のスポット径が図 37 の実施例の場合と図 39 の実施例の場合の中間になる。

【0212】図 40 (b) は、主コア 302A が存在する側の副コア 302B の幅が、相対的に広くなるようにしたものである (図 37 の場合には副コア 302B の幅が一定である)。このようにすると、後に説明するように、光導波路の主コア 302A を有する側の横方向のスポット径が相対的に大きくなるので、横方向のスポット径が相対的に大きい半導体レーザとの結合効率を向上させることができる。

【0213】図 41 は、図 39 及び図 40 の実施例の効果を定性的に説明するためのものである。ここに図 41 (a) は光導波路の断面図である。クラッド層 301 の屈折率を  $n_1$ 、副コア 302B の屈折率を  $n_2$ 、主コア 302A の屈折率を  $n_3$  で示す。また、主コア 302A の幅を  $W_m$ 、副コア 302B の幅と主コア 302A の幅の差を  $W_s$  で示している。さらに (1) は、この導波路にガイドされる光の電界強度分布を示しており、そのスポットサイズを  $W_e$  で示す。

【0214】図 41 (b) は図 41 (a) の  $W_s$  と副コア 302B の屈折率  $n_2$  が変化した場合の  $W_e$  の変化を定性的に示すものである。 $W_s$  を横軸にとり、 $n_2$  を  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  にしたときの  $W_e$  の変化を示している。

【0215】図 41 (b) に図示したように、 $W_s$  が大きくなるとスポットサイズ  $W_e$  が大きくなる。また  $n_2$  が大きくなるとスポットサイズが大きくなる。なお  $W_s$  が一定値より小さくなると逆の変化をするようになる。具体的には図 37 の実施例の光導波路 (主コア 302A を、屈折率 1.7、厚さ  $0.19\mu\text{m}$  のシリコン窒化膜で構成するもの) において、例えば  $W_s$  を  $10\mu\text{m}$  にすると、横方向のスポット径は  $6.3\mu\text{m}$  になる ( $W_s$  が  $0.7\mu\text{m}$  の場合のスポット径は  $5.7\mu\text{m}$ )。さらに、 $W_s$  を十分広くし (例えば  $20\mu\text{m}$ )、 $W_m$  を  $1.5\mu\text{m}$  まで狭くすると、横方向のスポット径は  $7.2\mu\text{m}$  になる。

【0216】図 37 の実施例のうち、主コア 302A を、屈折率 1.6、厚さ  $0.8\mu\text{m}$  のポリイミドで構成するものの場合には、 $W_m$  を  $1.6\mu\text{m}$ 、 $W_s$  を  $10\mu\text{m}$  にすると、横方向のスポット径は  $6.5\mu\text{m}$  になる。このように、 $W_s$  と  $W_m$  を調節すると、広い範囲にわたってスポットサイズを調節することができる。光導波路のスポットサイズを調節し、半導体レーザに一致させることにより高い結合効率を持った光結合装置を実現することができる。

【0217】なお、図 37、図 39 および図 40 の実施例は、

図8、図10、図11、図13～図18、図20～図36の実施例の、いずれの導波路にも適用可能である。図42は主コア及び副コアを用いた曲がり導波路を有する単体の光導波路であって、図37の実施例による光導波路を曲がりを有する導波路に適用する例を示したものである。図42(a)は、光導波路を、曲がりの部分およびその前後に主コア302Aを有する構成としたものである。図42(b)は、光導波路を、曲がりの部分から片方の端部にかけて主コア302Aを有する構成としたものである。

【0218】本実施例による導波路は、曲がりの部分において光が強く閉じ込められるので、曲がりの曲率を比較的小さくした場合でも損失が小さいものとなる。さらに図42(b)の場合には、主コア302Aのある側にガイドされる光のスポットサイズが小さいものとなり、半導体レーザ等との結合効率が向上する効果が得られる。

【0219】例えば図18、図20～図26の実施例に示す光結合装置の光導波路300に、図42の光導波路300を用いると、装置を小型にすることができる。さらに、例えば図18、図20～図26の実施例に示す光結合装置の光導波路300に、図42(b)のものをを用い、主コア302Aを有する側の端面を半導体レーザ300に対向させた場合には、両者のスポットサイズが一致するようになり光結合効率が向上する効果も得られる。

【0220】図43はコアの幅を変化させた曲がり導波路を有する光導波路であって、図43において、光導波路を、曲がりの部分およびその前後で幅が広がる構成のコア302の周囲をクラッド層301で取り囲む構成としたものである。ここに図43(a)は本実施例による光導波路の斜視図、図43(b)は図43(a)を上側から見た平面図である。

【0221】本実施例による導波路は、曲がりの部分において光が強く閉じ込められるので、曲がりの曲率を比較的小さくした場合でも損失が小さいものとなる。例えば図18、図20～図26の実施例に示す光結合装置の光導波路300に、図43の光導波路300を用いると、装置を小型にすることができる。

【0222】図44および図45は、光導波路300を、ポリイミドによるクラッド層301Aの上側にプラズマCVDで形成したシリコン窒化膜311を配置し、その上にコア302とオーバークラッド層301Bを配置した構成としたものである。シリコン窒化膜311の厚さは200nm以下である。

【0223】図44(a)は単一の構成のコア302を有する例1にて、図44(b)および図45(a)～図45(c)は、コア302を主コア302Aと副コア302Bの複合体で構成する例2、例3、例4及び例5である。それぞれ図37、図40(a)、図40(b)、図39に対応する導波路のクラッド301とコア302の間にプラズマCVDで形成したシリコン窒化膜311を配置したものである。本実施例では、コア302となるべき層を形成した後にその上にマスクを形成し、次いで酸素プラズマでエッチングして矩形のコア302を形成する。

本実施例を用いると、酸素プラズマエッチングによりコア302を矩形に加工する際、シリコン窒化膜311がエッチングストップ層になり、加工が容易になる。

【0224】図46は、図10の実施例において、金属製のリング304の下側に相当する部分および半導体レーザ200に対向する端部を、主コア302Aと副コア302Bの複合体で構成されるコア302を有する導波路にしたものである。具体的には、本導波路は、クラッド層301の屈折率が1.55、副コア302Bの屈折率が1.558、主コア302Aの屈折率が1.6、副コア302Bの断面の外形寸法が $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ 、さらに、主コア302Aを含む側の端において、主コア302Aの厚さが $1\mu\text{m}$ 、主コア302Aの幅が $3\mu\text{m}$ 、アンダークラッド層301Aとオーバークラッド層301Bの厚さが $20\mu\text{m}$ である。このようにすることにより、金属製のリング304が存在することによる損失を低減することができる。

【0225】図47は、図10又は図11の実施例において、気密封止の際の光結合装置1Aの電気的な接続端子の確保のために、電気配線パターン502を形成した独立した部材（電気配線部材500）を用いるものである。

【0226】光導波路300は、図35に例示したような基板100の窪み106にバッファ層310を埋め込んだものである。電気配線パターン502はリング状のセラミック基板501とリング状のセラミックの板503に挟まれるように形成されている。セラミック板503の上にはリング状に金属皮膜504が形成され、その上に蓋400を抵抗溶接し、気密封止をしている。

【0227】図48と図49は、図47に例示した光結合装置の製造工程を示すものである。まず図48(a)のように、異方性エッチングでシリコン基板100に窪み106を形成する。次いで、図48(b)のように、窪み106にバッファ層310の材料（具体的には石英又はポリイミド樹脂）を充填し、次いで表面を研削して平坦にする。次に、図48(c)のように、クラッド層301とコア302で構成される光導波路300を形成する。さらに、基板の窪み106の右上側の端に相当する部分がその端になるように、導波路300に孔303を形成する。孔303の部分には基板100の表面および基板100の表面に形成された電気配線パターン（図示せず）及び半導体レーザをボンディングするためのボンディングパッド102が露出している。

【0228】なお、光導波路300に有機材料を用いる場合には、基板の表面に電気配線パターン（図示せず）とボンディングパッド102を形成した後、光導波路の材料を塗布し、光導波路300及び孔303を形成する。光導波路に石英等の高温処理を要する材料を用いる場合には、光導波路300と孔303を形成した後、孔303の部分の基板100の表面に電気配線パターン（図示せず）とボンディングパッド102を形成する。

【0229】次に、図49(a)に示すものは、光導波路付基板に張り合わせるための独立した電気配線部材500である。電気配線部材500は、図49(a)のように、セラミッ

ク基板501上に電気配線パターン502を形成し、さらにその上にセラミックの板503を張り合わせ、さらにその上にリング状の金属皮膜504を形成したものである。

【0230】このような電気配線部材500を、図49(b)に示すように、光導波路付基板の上に張り合わせる。次に、図49(c)のように、アレイ状の半導体レーザ200をボンディングする。次にリング状の金属皮膜504のうえに金属製の蓋400を重ね、周囲を抵抗溶接すれば、図47のように気密封止される。

【0231】本実施例によれば、別に製造した電気配線部材500を張り合わせるだけで気密封止をすることができるようになる。そのため、電気配線の製造工程が、導波路の製造工程に影響されなくなる。

【0232】例えば、図10又は図11の実施例においては、光導波路の製造工程に対応して電気配線パターン103の材料および製造工程を選択する必要がある。しかし、本実施例では電気配線部材を別に製造するので、その製造工程は光導波路の製造工程とは全く無関係となる。そのため、例えば、集積回路用パッケージの製造工程をそのまま使用する等電気配線部材の製造に従来の製造方法を用いることが可能になる。

#### 【0233】

【発明の効果】以上説明した如く本発明によれば、光結合させるべき半導体レーザと光導波路の2種類の光部品をそれぞれアレイ状に配列して対向させ、それらアレイ状の光部品を、それら光部品の要素部品間の配列ピッチが光結合に許容される結合トレランスの±2倍の誤差範囲内に止まるよう配列して基板上に製作し、それぞれ対向した2種類の光部品間の光結合を測定して最も高い結合度を示す一対の光部品を選択することによって、光結合させるべき2種類の光部品の、基板と平行な横方向の位置調整のための光学調整が不要になり、また、2種類の光部品のいずれか一方の光部品を、光学調整のために一時的に発光させることによって損傷させてしまうことを未然に防ぐことができ、さらに、光ファイバと半導体レーザを光結合させる場合、これらの中にアレイ状の光導波路を介在させるため、半導体レーザを小さなピッチでアレイに配列できて、半導体レーザと光導波路の2種類の光部品をアレイ状にしても光結合装置全体を小型化でき、さらに、本発明によれば、上記2種類の光部品を基板上に設置する場合、光導波路のアンダークラッド層と基板の間にアンダークラッド層より低屈折率のバッファ層を設けることにより、アンダークラッド層とバッファ層を合わせた層厚を薄くすることができ、光学調整を行わずに、上記半導体レーザと光導波路との、上記横方向と直角の高さ方向の光軸ずれを軽減させることができ、さらに、本発明によれば、上記バッファ層を無機材料で作り、上記アンダークラッド層、コア及びオーバークラッド層を含む光導波路を有機材料で作ることにより、当光導波路を形成するまえに容易にバッファ層の上

に電気配線用パターンや半導体レーザを載置するボンディングパッドを形成することができ、また、光導波路をプラズマエッチングにより容易に形成することができ、さらに、本発明によれば、光導波路のコアを、主コアと主コアより低屈折率の副コアを、主コアを中心に副コアをその周囲を取り巻く構造で且つ光の進行方向に沿って主コアの断面積を徐々に小さくなるように形成することによって、あるいは、光導波路のコアの断面積を光の伝播方向に変化させることによって、コアを伝播する光のスポット径を変化させることができ、主コアの断面積が大きい側に半導体レーザを、小さい側に光ファイバを接続した場合、高い結合度にて半導体レーザと光ファイバを光結合させることができ、また、光導波路を小さい曲率半径で曲げることができて光結合装置を小型化できる効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の手段1における要素部品間の配列ピッチの説明図

【図2】 バッファ層を有する3層スラブ構造の光導波路の断面図と屈折率分布図

【図3】 図2のスラブ構造光導波路の電界分布図と屈折率分布図

【図4】 3層スラブ構造の光導波路の層構造図と屈折率分布図

【図5】 図4の光導波路にガイドされる光の電界分布と屈折率分布図

【図6】 図2の光導波路にガイドされる光のスポットサイズとコアの厚さを示す図

【図7】 図37の光導波路にガイドされる光のスポットサイズを示す図

【図8】 本発明の第1の実施例による光結合装置を示す図

【図9】 図8に示す本発明の第1の実施例の光結合装置の半導体レーザと光導波路の結合効率を例示する図

【図10】 図8に示す本発明の第1の実施例の光結合装置の第1の変形実施例による光結合装置を示す図

【図11】 図8に示す本発明の第1の実施例の光結合装置の第2の変形実施例による光結合装置を示す図

【図12】 図10の第1の変形実施例の光結合装置において、光ファイバと接続すべき導波路を選択する実施例

【図13】 図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第1の実施説明図

【図14】 図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第2の実施説明図

【図15】 図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第3の実施説明図

【図16】 図10の第1の変形実施例の光結合装置に光ファイバを結合する第4の実施説明図

【図17】 図8の第1の実施例の第3の変形実施例による光結合装置を示す図

【図18】 図8の第1の実施例の第4の変形実施例による光結合装置を示す図

【図19】 図18の第4の変形実施例の光結合装置の光ファイバと接続すべき導波路を選択する実施例の説明図

【図20】 図18の第4の変形実施例による光結合装置の光導波路に光ファイバを結合するための構成を例示する図

【図21】 図18の第4の変形実施例による光結合装置の光導波路に光ファイバを結合するための他の構成を例示する図

【図22】 図20の実施例の変形実施例による光結合装置を示す図

【図23】 図21の実施例の変形実施例による光結合装置を示す図

【図24】 図23の実施例の変形実施例による光結合装置を示す図

【図25】 図18の実施例に図10の実施例を適用する光結合装置を示す図

【図26】 図22の実施例に図10の実施例を適用する光結合装置を示す図

【図27】 半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例1）

【図28】 半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例2）

【図29】 半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例3）

【図30】 半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例4）

【図31】 半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例5）

【図32】 半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例6）

【図33】 半導体レーザと光導波路の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例7）

【図34】 半導体レーザと光導波路（それぞれ単体）の高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例8）

【図35】 半導体レーザとバッファ層の上に形成された光導波路との高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例9）

【図36】 半導体レーザとバッファ層の上に形成された光導波路（それぞれ単体）との高さ方向の光軸合わせを容易にした光結合装置を示す図（例10）

【図37】 伝搬するに伴い、光のスポットサイズが変化する単体の光導波路（例1）を示す図

【図38】 半導体レーザの出力を直接光ファイバに導入する場合と光導波路を介して導入する場合とその光導

波路が光スポットサイズを変化させる場合の光結合説明図

【図39】 伝搬するに伴い、光のスポットサイズが変化する単体の光導波路（例2）を示す図

【図40】 伝搬するに伴い、光のスポットサイズが変化する単体の光導波路（例3及び例4）を示す図

【図41】 図39及び図40における光スポットサイズの変化を示す図

【図42】 主コアと副コアを有する単体の曲がり導波路を含む光導波路を示す図

【図43】 コアの幅を変化させた曲がり導波路を含む光導波路を示す図

【図44】 ポリイミドによるクラッド層の上にシリコン窒化膜を配置し、更にその上にコアを形成した光導波路（例1及び例2）を示す図

【図45】 ポリイミドによるクラッド層の上にシリコン窒化膜を配置し、更にその上にコアを形成した光導波路（例3、4及び5）を示す図

【図46】 図10の実施例の光導波路に複合コアを適用した実施例を示す図

【図47】 図10または図11の気密封止の光結合装置に、電気的接続端子用の電気配線パターンを適用した実施例を示す図

【図48】 図47の電気封止をした光結合装置の製造工程を示す図（その1）

【図49】 図47の電気封止をした光結合装置の製造工程を示す図（その2）

【図50】 半導体レーザと光ファイバをレンズを用いて光結合させた従来の光結合装置を示す図

【図51】 気密封止をした光半導体レーザと光ファイバをレンズを用いて光結合させた従来の光結合装置を示す図

【図52】 半導体レーザと先端をレンズ状に加工した光ファイバを結合させた従来の光結合装置を示す図

【図53】 図52の半導体レーザを気密封止した従来の光結合装置を示す図

【図54】 半導体レーザと光ファイバの位置合わせを簡易化する構造を有する従来の光結合装置を示す図

【図55】 図54の光ファイバにテーパ先端球ファイバを用いて結合効率の向上を図った従来の光結合装置を示す図

【図56】 図54あるいは図55の半導体レーザを気密封止した従来の光結合装置を示す図

【図57】 マルチモード光導波路を適用した従来の光結合装置を示す図

【図58】 シングルモード光導波路を適用した従来の光結合装置を示す図

【図59】 半導体レーザの光軸を持ち上げて半導体レーザとシングルモード光導波路を結合させた従来の光結合装置を示す図

【図60】 微動装置を用い、マークを利用して半導体レーザを基板に実装することを示す実装説明図を示す図

【図61】 半導体レーザをクリップチップボンディングするときの半導体レーザ及び基板の従来の構成図とその寸法図

【符号の説明】

- 1、1A、1Bおよび1C: 光結合装置、  
 2: フォトダイオード、  
 3及び3A: 光ファイバ、  
 5: スペーサ、  
 41及び42: レンズ、  
 100、110、120、140、150、160、170及び180: 基板、  
 101: 電気的な絶縁を行うための膜、  
 102: ボンディングパッド、  
 106: 基板に形成した窪み、  
 107: 位置合わせのための印、  
 108: 電気的な絶縁を行うための膜、  
 110: 共通基板、  
 111: レール、  
 121: 光ファイバガイド溝、  
 104及び122: レール嵌合溝、  
 123及び132: 周期的凹凸、  
 130: 光ファイバ押接部材、  
 131: 光ファイバ押接溝、  
 181: ファイバをガイドするための溝、  
 200: 半導体レーザ等の光半導体装置、  
 200X及び300X: アレイ状の光部品、  
 201: 能動領域、  
 202: ボンディングパッド、

- 203: ボンディングのための接着用部材、  
 204: 位置合わせのための印、  
 300: 光導波路、  
 301: 光導波路のクラッド層、  
 301A: アンダークラッド層、  
 301B: オーバークラッド層、  
 302: 光導波路のコア、  
 302A: 主コア、  
 302B: 副コア、  
 303: 孔、  
 304: リング状の金属部材、  
 311: 無機物の薄膜、  
 400: 気密封止をするための蓋、  
 500: 電気配線部材、  
 501、503及び504: リング状の部材、  
 502: 電気配線パターン、  
 600: 光半導体素子を気密封止するための入れ物、  
 607: 封止用窓、  
 700: 光半導体素子を気密封止するための基体、  
 703: 突起704を切り欠いた部分、  
 704: 突起、  
 705: 接着剤。

【手続補正2】

【補正対象書類名】図面

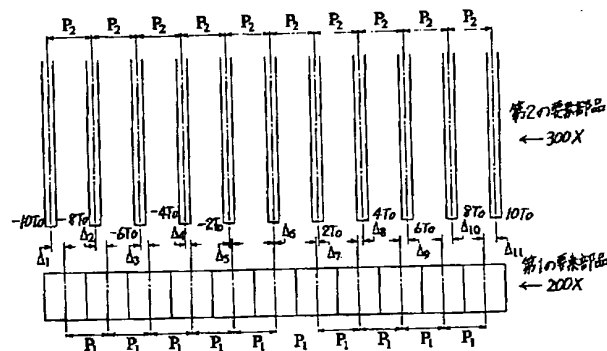
【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】

手段1における要素部品間の配列ピッチの説明図



$$P_1 = P_2 - 2T_0 \quad \Delta_6 = 0$$

$$P_2 = P_1 + 2T_0 \quad \Delta_5 = \Delta_7 = 2T_0$$

$T_0$ : 二つの部品の結合トレランス

【手続補正3】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図10

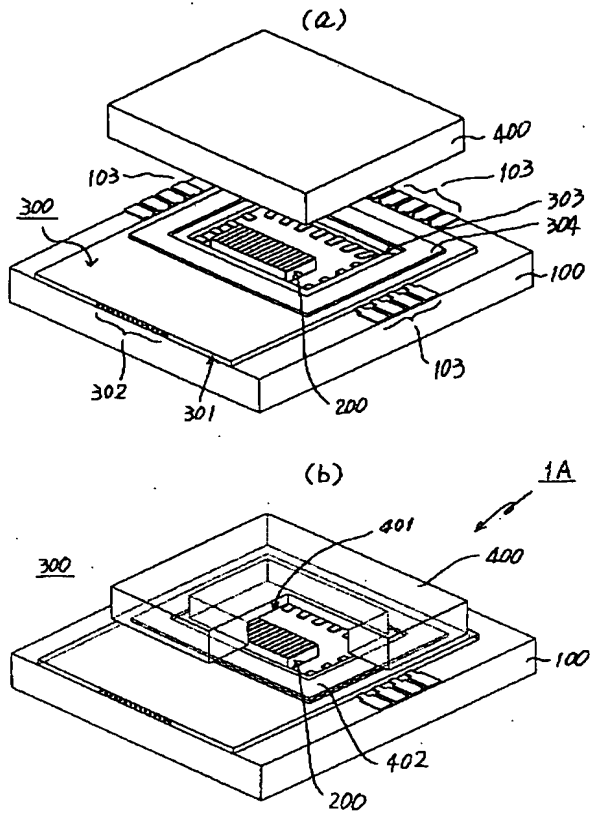
【補正方法】変更

【補正内容】

【図10】



図 8 の第 1 の実施例の第 1 の変形実施例による光結合装置



【手続補正 4】

【補正対象書類名】図面

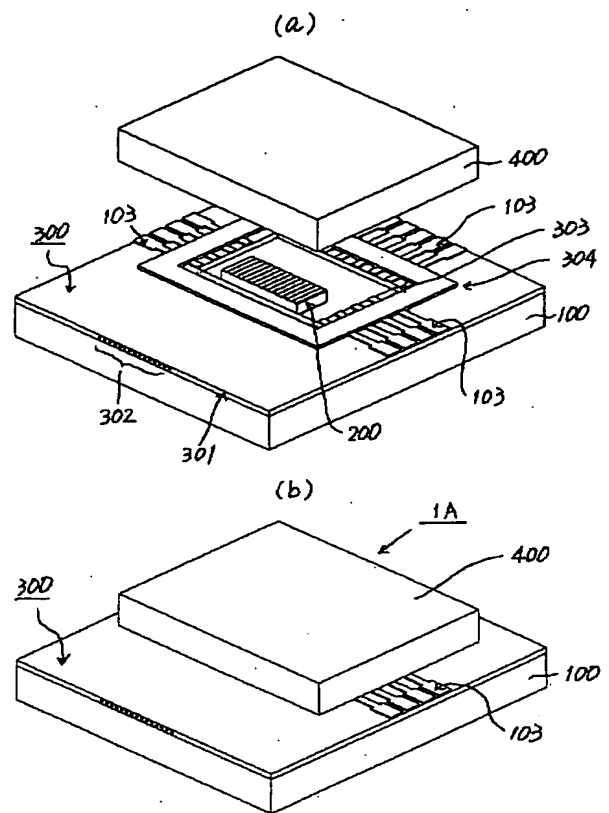
【補正対象項目名】図 1 1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図 1 1】

図 8 の第 1 の実施例の第 2 の変形実施例による光結合装置



【手続補正 5】

【補正対象書類名】図面

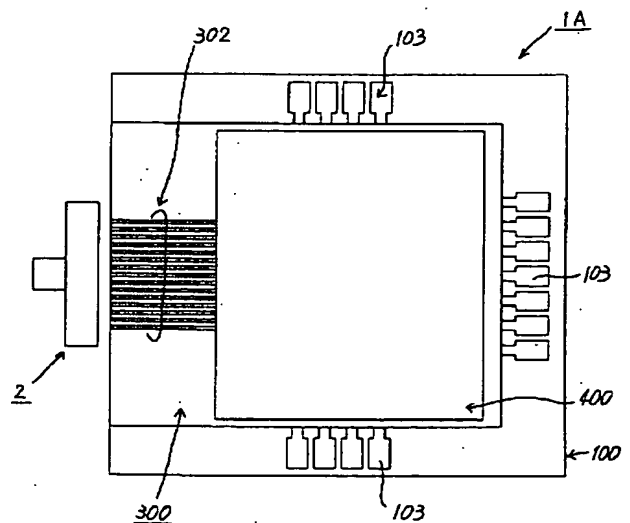
【補正対象項目名】図 1 2

【補正方法】変更

【補正内容】

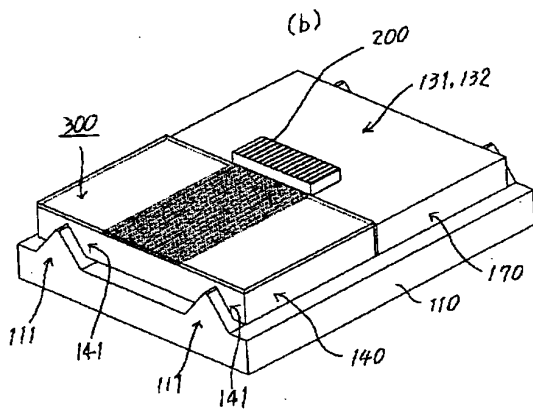
【図 1 2】

図 10 の第 1 の変形実施例の光結合装置において、  
光ファイバと接続する導波路を選択する実施例



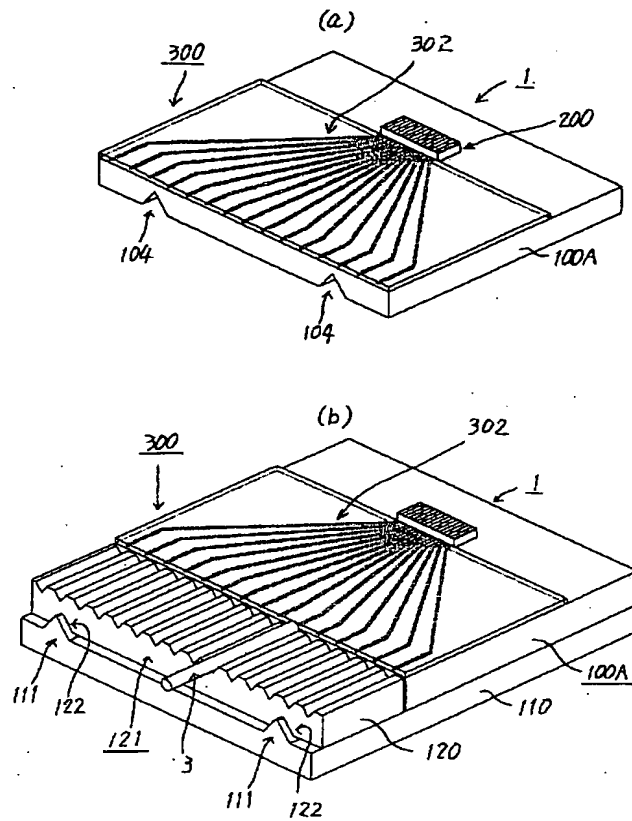
【手続補正 6】

図 8 の第 1 の実施例の第 3 の変形実施例による光結合装置



【圖 20】

図18の第4の変形実施例の光結合装置の光ファイバを  
結合するための構成の例示図



【手続補正8】

【補正対象書類名】図面

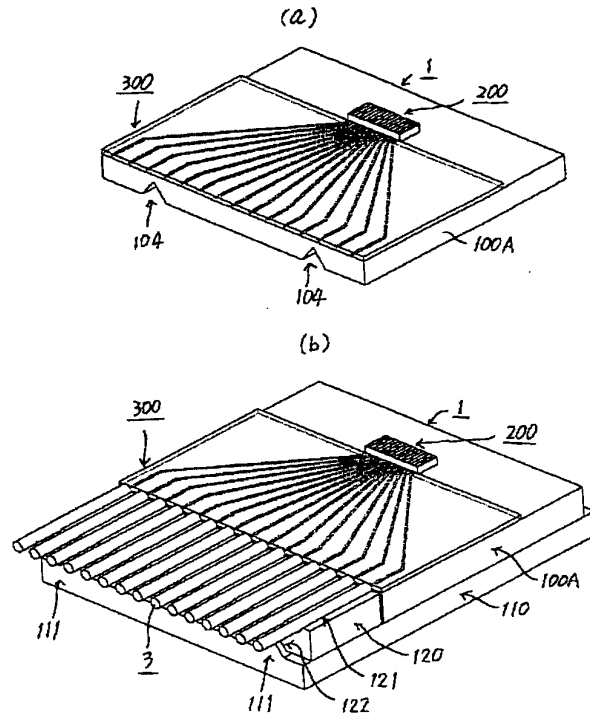
【補正対象項目名】図21

【補正方法】変更

【補正内容】

【図21】

図18の第4の変形実施例の光結合装置の光導波路に  
光ファイバを結合するための他の構成の例示図



【手続補正9】

【補正対象書類名】図面

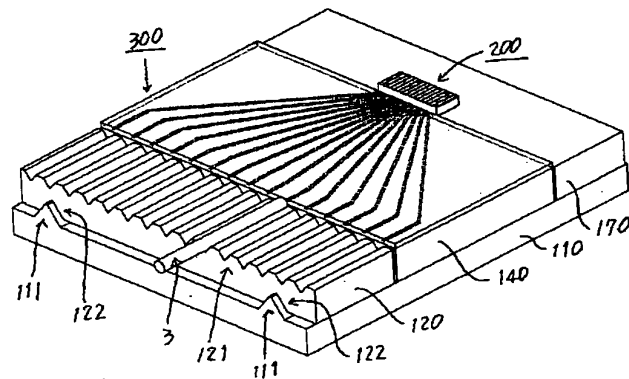
【補正対象項目名】図23

【補正方法】変更

【補正内容】

【図23】

図21の実施例の変形実施例による光結合装置



【手続補正10】

【補正対象書類名】図面

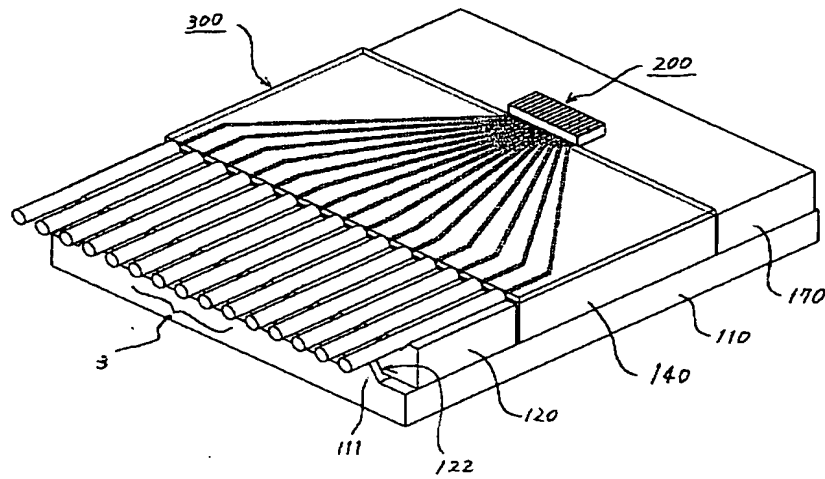
【補正対象項目名】図24

【補正方法】変更

【補正内容】

【図24】

図23の実施例の変形実施例



【手続補正11】

【補正対象書類名】図面

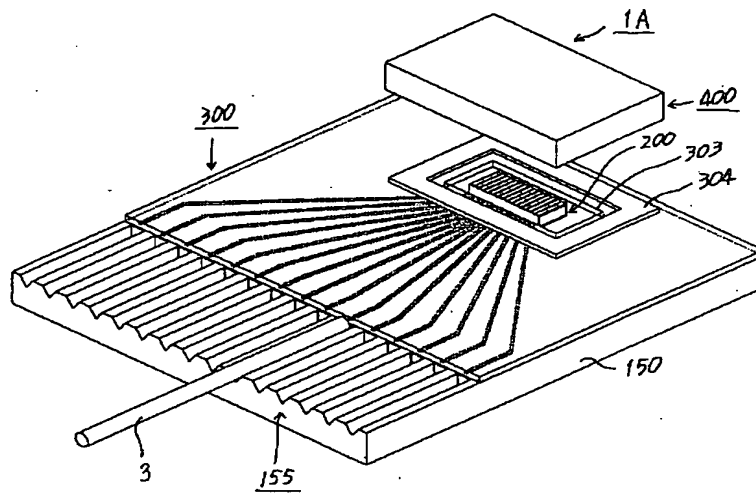
【補正対象項目名】図26

【補正方法】変更

【補正内容】

【図26】

図22の実施例に図10の実施例を適用する実施例



【手続補正12】

【補正対象書類名】図面

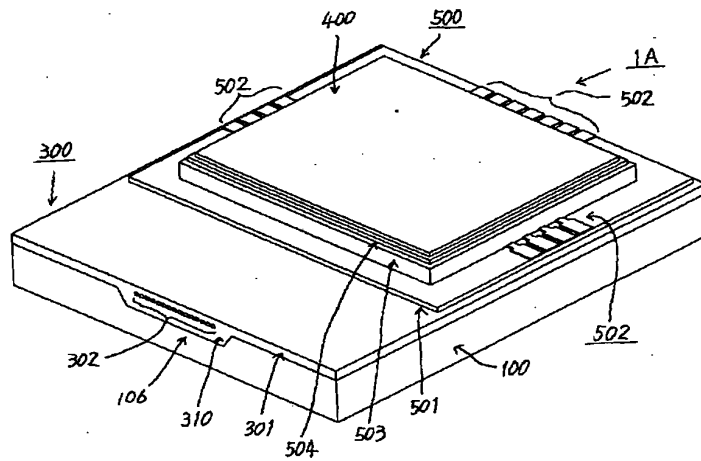
【補正対象項目名】図47

【補正方法】変更

【補正内容】

【図47】

図10または図11の気密封止の光結合装置に、電気的接続  
端子用の電気配線パターンを適用した実施例



【手続補正13】

【補正対象書類名】図面

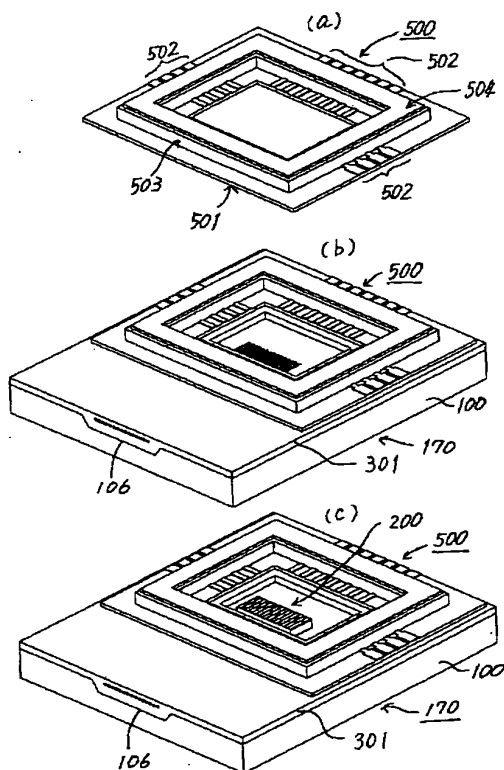
【補正対象項目名】図49

【補正方法】変更

【補正内容】

【図49】

図47の電気封止をした光結合装置の製造工程を示す図（その2）



【手続補正14】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図51

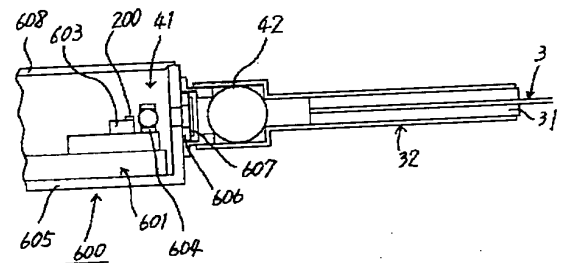
【補正方法】変更

【補正内容】

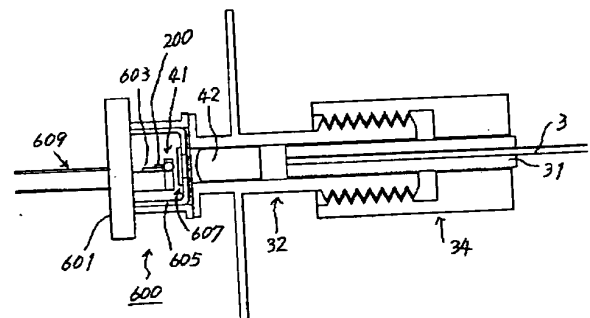
【図51】

気密封止をした光半導体レーザと光ファイバをレンズを  
用いて光結合させた従来の光結合装置

(a)



(b)



【手続補正15】

【補正対象書類名】図面

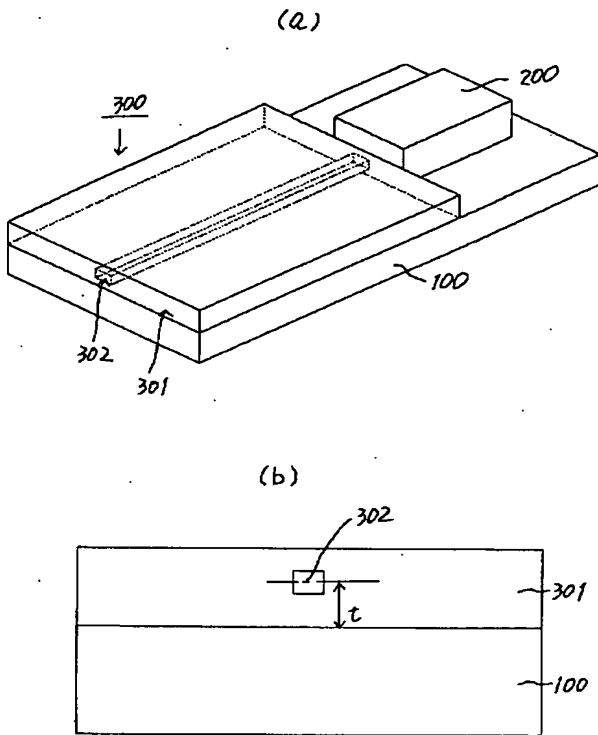
【補正対象項目名】図58

【補正方法】変更

【補正内容】

【図 58】

シングルモード光導波路を適用した従来の光結合装置



【手続補正 16】

【補正対象書類名】図面

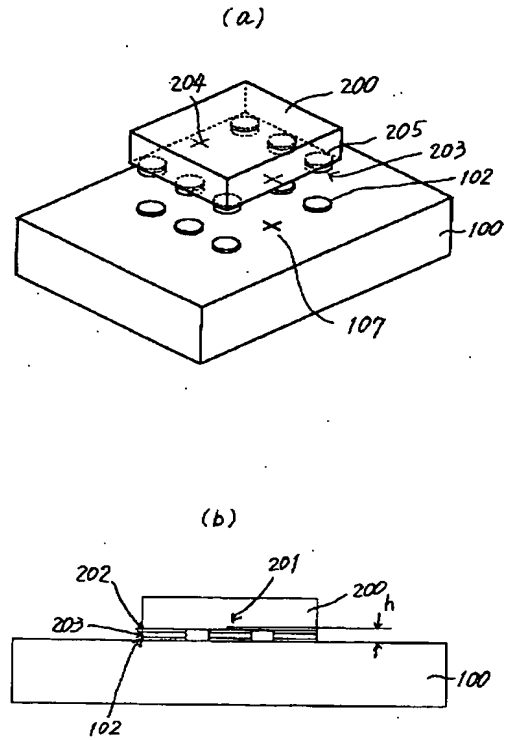
【補正対象項目名】図 60

【補正方法】変更

【補正内容】

【図 60】

微動装置を用い、マークを利用して半導体レーザを基板に  
実装することを示す実装説明図



【手続補正 17】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 61

【補正方法】変更

【補正内容】

【図 61】

半導体レーザをクリップチップボンディングするときの  
半導体レーザ及び基板の従来の構成図及びその寸法図

